

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL
DE NAVEGACIÓN DEL SECTOR BARRANCAS DEL RÍO
ORINOCO MEDIANTE EL MÉTODO DE FUERZA TRACTIVA,
ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LAS BACHILLERES
ESPAÑA S., ERIKA J. Y
LEONES V., LUIXANDRE
R. PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2018



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **“ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL SECTOR BARRANCAS DEL RÍO ORINOCO MEDIANTE EL METODO DE FUERZA TRACTIVA, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”**, presentado por los bachilleres, **ESPAÑA S., ERIKA J. Y LEONES V., LUIXANDRE R.** de cédulas de identidad No: **21.578.856** y **25.277.872** respectivamente; como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente por el jurado integrado por los profesores

Nombre y Apellido:

Firma:

Profesor Dafnis Echeverría

(Asesor)

(Jurado)

(Jurado)

Prof. Javier Ramos M.
Jefe Dpto. de Ingeniería Geológica.

Prof. Francisco Monteverde
Director Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, 05 de Noviembre de 2018

DEDICATORIA

Primeramente a mi Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado la fuerza y salud para lograr mi objetivo.

A mi madre Jackelin Salazar, mi pilar fundamental por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos que me han permitido ser una persona de buenos principios, pero más que nada por su infinito amor.

A mis padres José España y Luis González, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me han infundado siempre y también por su amor.

A mi hermana Alexandra Silva, por su ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles, por ayudarme en todo momento.

A mi hermana menor Margarita España, por se mi apoyo en las buenas y en las malas y porque junto a ella e aprendido cosas que me han servido de experiencia.

A mi sobrino Sebastián España, mi hijo y pequeña gran personita, que me ha enseñado a ver la vida de otra manera, y ha sido mi motor de impulso para ser un ejemplo en su vida.

Y a todas esas personas que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis, Gracias a ustedes.

Erika J. España S.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi Madre Bella, Mireya Vargas, por haberme apoyado en todo momento por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero mas que nada, por su gran amor. Sin olvidarme de todos mis hermanos y hermanas, los cuales son muchos y no nombrare, pero al menos se acordaron de mí en algún momento y a mis abuelitos por lo impartido ganando experiencia, los amo.

Luixandre R. Leones V.

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Dios, por permitirnos tener una buena experiencia dentro de nuestra universidad, gracias a nuestra universidad por formarnos en unos excelentes profesionales.

Gracias a cada uno de los profesores, especialmente a nuestro profesor y tutor de tesis Dafnis Echeverría, que nos ayudó en todo momento y nos brindó el conocimiento necesario; gracias por sus orientaciones para que el trabajo de investigación se hiciera realidad.

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar en nosotros, por contribuir con nuestra formación, por la paciencia y el amor, por estar con nosotros en los momentos más necesarios.

Gracias a nuestros hermanos, por estar dispuestos acompañarnos cada noche de estudio, por desear siempre lo mejor para nuestra vida.

Gracias a nuestros compañeros de clase, aquellos hermanos de estudios a lo largo de nuestra carrera como lo fueron, Erika P, Cristhian R, Arlin G, Anderson B, Martin R, Javier M, Jhoan R, que estuvieron presente durante esta etapa y han compartido experiencias buenas y malas brindándonos apoyo incondicional, gracias.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo y a todas las persona que de una u otra forma nos apoyaron, creyeron en nosotros y en la realización de esta tesis, muchas gracias.

RESUMEN

El objetivo fundamental del presente trabajo de grado consiste en analizar las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas., ubicado entre las progresivas fluviales: millas 150 y 145 del canal de navegación del río Orinoco, en el estado Monagas. La estrategia adoptada para dar respuesta al problema planteado fue documental y de campo. Para la realización de la presente investigación se describió el comportamiento de las corrientes con base a los estudios de Medina y Echeverría (1992); asimismo, se efectuaron la correlación de los niveles del río, velocidades y caudales con base a los datos que les suministro el INC... Con base al estudio de Bermúdez y Echeverría (1990) se describieron texturalmente los materiales del lecho del cauce mediante la revisión de los análisis granulométricos y el análisis morfométrico de las partículas efectuado a las muestras del lecho durante esas investigaciones. Posteriormente, se determinaron las características morfológicas del lecho para el sector, mediante la creación de modelos digitales tridimensionales y secciones transversales, con información proveniente de levantamientos batimétricos costa a costa. Se utilizó el programa de simulación hidrodinámica SMS para analizar las relaciones entre los parámetros hidráulicos como la velocidad de la corriente y la morfología del cauce. Finalmente, se aplicó el método de la fuerza tractiva para la estimación de las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación en el sector. Como resultados relevantes se determinó que los materiales del cauce se corresponden con arenas mal gradadas (SP). Hidráulicamente los niveles del agua varían de acuerdo al ciclo hidrológico de la región es decir ascendiendo en la época de lluvias y descendiendo en la época de sequía desde 8.9 m hasta 0.85 m (referidos al Datum NAB). La elaboración de las secciones transversales del cauce permitieron observar que las mayores profundidades se corresponden con el tramo medio del sector en su parte norte del canal, paralela a la concavidad de la ribera y que el ángulo de los taludes del canal de navegación se corresponde entre 3 y 6 grados.. Finalmente, utilizando el método de la fuerza tractiva se determinó que los taludes del canal de navegación para el momento del estudio se encuentran en estado de estabilidad crítica (K cercano a 1).

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	vi
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE APÉNDICES	xiv
CAPÍTULO I.....	3
. SNVESTIGAR.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación	6
1.5 Limitaciones de la investigación	6
CAPÍTULO II	8
DEGENERALIDADES	8
2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio	8
2.2 Acceso al área de estudio	8
2.3 Características Climatológicas	9
2.4 Características bióticas	10
2.4.1 Vegetación	10
2.4.2 Fauna	10
2.4.3 Ictiofauna.....	11
2.5 Río Orinoco	11

2.6 Geología Regional.....	12
2.6.1 Complejo de Imataca.....	13
2.6.2 Formación Mesa.....	14
2.6.3 Depósitos aluviales	15
2.7 Geología del área	15
CAPÍTULO III.....	17
. BASES TEORICAS	17
3.1 Antecedentes o estudios previos.....	17
3.2.6 Degradación del cauce	23
3.2.7 Hidrología fluvial.....	25
3.2.8 Análisis granulométrico por el método del tamizado	26
3.2.9 Forma, redondez y esfericidad	27
3.2.10 Representación gráfica de los datos granulométricos	29
3.2.11 Morfología de ríos sinuosos.....	31
3.2.12 Afectación de la morfología de un río sinuoso.....	31
3.2.13 Erosión de márgenes.....	32
3.2.14 Procesos físicos del flujo en curvas	32
3.3. Métodos de estabilidad de taludes sumergidos.....	33
3.3.1 Estabilidad de taludes sumergidos	33
3.3.3. Estabilidad de los taludes de las orillas según la teoría del arrastre	37
3.3.4 Método de la velocidad permisible.....	38
3.3.5 Velocidad máxima permisible	40
3.3.7. Método de la fuerza tractiva	42
3.3.8. Fuerza tractiva	43
3.3.9. Relación de la fuerza tractiva	45
3.3.10. Fuerza tractiva permisible.....	48
CAPÍTULO IV	51
.....	51
METODOLOGIA DE TRABAJO	51

4.1 Tipo de investigación	51
4.2 Diseño de la investigación.....	51
4.3 Población y muestra de la investigación	52
4.3.1 Población de la investigación	52
4.3.2 Muestra de la investigación	53
4.4.1 Observación directa.	53
4.4.2 Revisión literaria.....	54
4.4.3 Entrevistas no estructuradas	54
4.5 Flujograma de la investigación	54
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	55
4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco.....	56
4.6.2 Variación de niveles del río Orinoco en el sector Barrancas.....	56
4.6.3 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a las características de la corriente (velocidad y caudal)	56
4.6.4 Patrones preferenciales del flujo del fluido en dos fases.....	57
4.6.5 Grado de estabilidad de los taludes sumergidos.....	57
CAPÍTULO V. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
5.1 Variación temporal de los niveles del agua.....	58
5.2 Correlación de los parámetros hidráulicos de la corriente	60
5.3 Descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce	61
5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho	62
5.3.2 Forma de las partículas del lecho	64
5.4 Inclinación de los taludes laterales del canal de navegación.....	65
5.4.1 Pendiente hidráulica en el sector Barrancas	65
5.5 Estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación	66
5.5.1 Cálculo del área efectiva, volumen y peso de las partículas.....	67

Sección	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
Conclusiones	75
Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS	77
Friedman y Sanders (1972). SHOALING AND TIDAL DEPOSITS THAT ACCUMULATED MARGINAL TO THE PROTO-ATLANTIC OCEAN. Boston.....	79
APÉNDICES.....	85
CC-387	
TD-387	
CC-288	
TI-2 88	
TD-288	
CC-189	
TD-189	

LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación relativa del sector Barrancas del río Orinoco.....	7
2.2	Morfología de la ribera frente a Barrancas del Orinoco.....	8
3.1	Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Hjulstrom, F., 1935).....	26
3.2	Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).....	28
3.3	Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).....	30
3.4	Profundización del lecho en la curva de un río (Cardenas, 2012).....	33
3.5	Diagrama de Presiones Tridimensionales para el cálculo de reposo del agua corriente (Tapia, 1983).....	38
3.6	Velocidades permisibles en suelos cohesivos (Chow, 1994).....	43
3.7	Distribución de la fuerza atractiva en una sección de canal trapezoidal (Chow, 1994).....	45
3.8	Fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de $w_y S$ (Fuente: Chow, 1994).....	46
3.9	Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Fuente: Ven Te Chow, 1994).....	48
3.10	Fuerzas tractivas unitarias permisibles recomendadas por el U.S. Bureau Of. Reclamation, para materiales no cohesivos (Chow, 1994).	51
3.11	Fuerzas tractivas permisibles para canales en materiales cohesivos convertida por URSS sobre velocidades permisibles (Fuente: Ven Te Chow, 1994).....	51
4.1	Flujograma de la investigación.....	56
5.1	Estación limnigráfica de Palúa en el sector San Félix (Echeverría, Jiménez y Malpica, 1989).....	59
5.2	Hidrograma de los niveles promedios mensuales (metros referidos al Datum NAB) del sector Barrancas año 1998.....	60
5.3	Correlación de los niveles y caudales líquidos velocidades registradas en la sección de aforo Chivera Norte del sector Barrancas del río Orinoco.....	61
5.4	Correlación de los niveles velocidades registradas en la sección de aforo Chivera Norte del sector Barrancas del río Orinoco.....	62
5.5	Sector Barrancas indicando puntos de muestreo.....	63
5.6	Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos CC1, TD1 y TI1 tomadas en la sección 1 del sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).....	64
5.7	Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos CC2, TD2 y TI2 tomadas en la sección 2 del sector Barrancas (Bejarano y	

	Echeverría. 1990).....	64
5.8	Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos CC3, TD3 y TI3 tomadas en la sección 3 del sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).....	65
5.9	Análisis de forma correspondiente a las muestras de la sección transversal 1. Sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).....	66
5.7	Sección transversal frente a, Barrancas del Orinoco, edo. Monagas....	67

LISTA DE TABLAS

	Página
3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth(Pettijohn, 1949).....	27
3.2 Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los valores correspondientes de fuerza tractiva unitaria convertidos por el U. S. Bureau of Reclamation (Chow, 1994).....	42
5.1 Datos de aforos de la sección Chivera Norte (INC, 2010).....	61
5.2 Valores de velocidad, rugosidad y elementos geométricos de las secciones del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas.....	61
5.3 Valores correspondientes de fuerza tractiva máxima unitaria en los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas	61
5.4 Valores de fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de γ_w y S presentes en el canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas.....	61

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.....	87
A.1 Datos de análisis granulométricos de muestras de la sección 1.....	88
A.2 Datos de análisis granulométricos de muestras de la sección 2.....	89
A.3 Datos de análisis granulométricos de muestras de la sección 3.....	90
A.4 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra TD1.....	91
A.5 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra CC1.....	91
A.6 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra TI1.....	91
A.7 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra TD2.....	92
A.8 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra CC2.....	92
A.9 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra TI2.....	92
A.10 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra TD3.....	93
A.11 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra CC3.....	93
A.12 Datos de análisis morfoscópicos de la muestra TI3.....	93
B GRÁFICO DE PENDIENTES HIDRÁULICAS DEL RÍO ORINOCO.....	94
C SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE.....	96
C.1 Sección transversal 4.....	97
C.2 Sección transversal 3.....	97
C.3 Sección transversal 2.....	98
C.4 Sección transversal 1.....	98

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la dinámica hidro-sedimentaria que se produce en un río siempre deberá ser objeto de intenso estudio, sobre todo si el río objeto de estudio es objeto de la intervención de actividades de carácter antrópico. En el caso específico del río Orinoco, en el tramo Matanzas hasta Boca Grande, se cuentan hasta doce sectores que son objeto de dragado de mantenimiento para lograr alcanzar las profundidades navegables requeridas por los buques que transitan a través del río padre.

Las operaciones de dragado de mantenimiento del río Orinoco son promovidas y controladas por el Estado Venezolano a costos muy elevados debido a que, para la fecha de elaboración de esta investigación, se contratan a empresas transnacionales los equipos de dragado (dragas autopropulsadas de succión y tolva) necesarios para efectuar el mantenimiento requerido. Cabe destacar que aun cuando el Estado cuenta con equipos de dragado (draga Guayana y draga Río Orinoco), estos se encuentran en estado inoperativo desde hace varios años motivado a la ausencia de inversión gubernamental en el mantenimiento correctivo de dichos equipos. Para el momento de elaboración del presente informe, el costo del metro cúbico de sedimento dragado a contratar, oscila aproximadamente entre 2.50 US\$ y 4.00 US\$ (dependiendo de las condiciones del entorno donde se dragará y de los equipos a utilizar); en vista de lo cual, es necesario agotar esfuerzos para optimizar tales operaciones, dada las grandes cantidades de sedimentos ($8.000.000 \text{ m}^3$) que deben ser removidas del lecho del río Orinoco anualmente

Entre las características del entorno que es necesario considerar se encuentran las siguientes: textura de los sedimentos, características del cuerpo de agua (nivel,

velocidad y dirección del flujo), climatología, entre otras; por ello se ha considerado establecer relaciones de carácter práctico entre los niveles del río y las formas que los sedimentos del río adoptan en el lecho y que de alguna manera pudiesen facilitar (lecho plano) u obstaculizar las operaciones de dragado de mantenimiento.

Este análisis permitirá obtener una información más detallada del Barrancas en cuanto a la morfología del lecho y su relación con el nivel de las aguas en él.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos; en el primero se plantea la situación del estudio, objetivos general y específicos, alcances y limitaciones. En el segundo capítulo se encuentran los rasgos generales del área de estudio, su ubicación geográfica, geología regional, climatología, hidrografía y regímenes de corriente del río Orinoco. El tercer capítulo muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido del trabajo. El cuarto capítulo trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos. En el quinto capítulo se presentan los resultados de la investigación y por último se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Según estudios realizados, el río Orinoco es uno de los ríos más importantes del mundo, no tanto por su longitud y caudal (2.140 km y algo más de 30.000 m³/s), ni por la extensión de su cuenca (un millón de km²); ni siquiera por las peculiaridades que encierra, sino por su importancia histórica y económica y la significación que ha tenido para Venezuela, país en el que se extiende la mayor parte de su cuenca, con casi las dos terceras partes de la misma. Es probablemente el río más caudaloso del mundo con relación a su cuenca, Transporta a lo largo de su cauce alrededor de 400 millones de metros cúbicos anuales. Estos materiales provenientes de los alrededores de la cuenca son erosionados, transportados y depositados a largo del río atendiendo a las condiciones hidrodinámicas y geomorfológicas presentes las cuales varían en el tiempo (ciclo hidrológico anual) y en el espacio (alto, medio y bajo Orinoco).

Uno de los factores en el cual radica la importancia del río Orinoco es las condiciones idóneas para la navegación de buques de gran calado sirviendo de medio de transporte de materia prima de productos de exportación en pro de la economía del país. Sin embargo, el canal de navegación del río Orinoco es conocido como canales de tipo interior en los cuales el continuo proceso de sedimentación dificulta la permanencia de adecuadas profundidades que permitan el tránsito seguro de las embarcaciones. La infraestructura del canal de navegación tiene entre sus elementos más importantes, los taludes laterales, los cuales se ven afectados por el mencionado proceso de sedimentación.

Esta sedimentación de los taludes incide en la eficiencia de los procesos de dragado de mantenimiento para alcanzar las profundidades requeridas por los buques para lograr una navegación segura. La sedimentación tiende a incrementar el ángulo de inclinación de los taludes laterales del canal, lo cual disminuye su estabilidad, y aumenta las posibilidades de derrumbe de los mismos por acción de las corrientes y del peso de los materiales que constituyen dichos taludes.

Por ello, es de vital importancia conocer el grado de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del sector Barrancas que permita programar el dragado de mantenimiento de los mismos.

En vista de ello, se plantea como problemática de investigación la necesidad de conocer con mayor detalle todo lo referente a los procesos geomorfológicos e hidrodinámicos vinculados a la estabilidad de los taludes sumergidos, por lo cual cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cómo es la variación temporal de los niveles del río Orinoco en el sector Barrancas?

¿Cuál es la relación existente entre los niveles del río, la velocidad de la corriente y los caudales que se producen en el sector Barrancas?

¿Cómo son las características texturales de los sedimentos que se movilizan y constituyen el lecho del cauce del sector Barrancas del río Orinoco?

¿Cuáles son los patrones preferenciales de flujo presentes en el área de estudio?

¿Cuál es el grado de estabilidad de los taludes laterales sumergidos del canal de navegación en el área de estudio?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar la estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas mediante el método de fuerza tractiva, estado Monagas, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar textural y geotécnicamente los materiales del cauce del río Orinoco en el sector Barrancas.
2. Describir la variación de los niveles del río Orinoco en el sector Barrancas del río Orinoco.
3. Caracterizar los parámetros hidráulicos del flujo del agua del río Orinoco en el sector Barrancas.
4. Inclinação de los taludes laterales sumergidos del canal de navegación con base al plano batimétrico y secciones transversales del sector Barrancas.
5. Determinar el grado de estabilidad de los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas de acuerdo al criterio de la fuerza tractiva.

1.3 Justificación de la investigación

Los taludes de algunos tramos del canal de navegación del río Orinoco han sido objeto de inestabilidad producto de la altura que adquieren dichos taludes y de

los materiales que integran los mismos. En vista de ello, y considerando la importancia estratégica que tiene para las actividades antrópicas productivas que se desarrollan en sus riberas y a la importancia estratégica que tiene el canal de navegación para el comercio de importación y exportación se ha considerado efectuar los estudios tendentes para determinar la estabilidad de los taludes del sector Barrancas

1.4 Alcance de la investigación

En esta investigación se plantea hacer una revisión de las características geotécnicas de los materiales presentes en el cauce del río Orinoco en el sector Barrancas. Así mismo, se efectuará una descripción de las condiciones del flujo del agua en el sector en función a los niveles que alcanza la superficie del agua, de las magnitudes la velocidad y direcciones de la corriente y el caudal del río. Así mismo, se describirá geomorfológicamente el cauce del río frente al área de estudio con base a la información batimétrica del río en el sector. Posteriormente, se realizará la determinación de las condiciones de estabilidad de los taludes en el citado sector.

1.5 Limitaciones de la investigación

Durante la formulación de la presente investigación no se han detectado obstáculos o inconvenientes que pudiesen de alguna manera interferir con el logro de los objetivos planteados. Sin embargo, es de hacer notar que para la caracterización textural de los materiales de la zona de estudio se utilizarán los resultados de muestreos anteriores efectuados durante investigaciones precedentes.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El área de estudio comprende el sector Barrancas específicamente desde la milla 144 hasta 140 del canal de navegación de río Orinoco (Figuras 2.1 y 2.2).



Figura 2.1 Ubicación relativa del sector Barrancas del río Orinoco.



Figura 2.2 Morfología de la ribera frente a Barrancas del Orinoco.

2.2 Acceso al área de estudio

En el sector Barrancas el acceso se logra por vía fluvial, por medio de embarcaciones públicas o de empresas privadas que pueden ser abordadas en los puertos de San Félix, una vez abordada la embarcación se deberá navegar aproximadamente durante dos (2) horas en dirección río abajo (hacia el este). o de Barrancas del Orinoco. La alternativa es desplazarse por vía terrestre hasta la población de Barrancas del Orinoco y desde el puerto de esta población se encuentra adyacente el área de estudio.

La principal vía de acceso a la zona es a través de la carretera asfaltada. Iniciando en Ciudad Bolívar, en dirección este hacia Puerto Ordaz por la troncal 19, se continúa el recorrido en dirección norte atravesando el puente Orinoquia y luego tomando la carretera en dirección este, hacia la población de Tucupita, pero

finalmente, tomando desvío hacia el sur hasta la población de Barrancas del Orinoco. (Figura 2.2).



Figura 2.2 Vía de acceso a la zona de estudio en imagen satelital Landsat (Google Earth, 2017).

2.3 Características Climatológicas

Este sector de la cuenca del río Orinoco está dominado por un clima tropical seco, la temperatura permanece prácticamente inalterable a lo largo de este sector del canal de navegación y se ubica en el orden de los 27° aproximadamente.

Es una zona de precipitación media que tiene una variación lineal en forma descendente entre 2700 mm a 950 mm. La evaporación media anual, y por consiguiente la evapotranspiración, presenta valores un poco variables que van desde 2700 mm a 1750 mm a lo largo de todo el tramo, con valores que están entre los 2025 mm a 1313 mm, respectivamente.

Esto se produce a la presencia de los meses de sequía presentes en todo el territorio nacional y por ende en la cuenca de todo canal de navegación (Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Características climatológicas del sector Barrancas
(Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994)

Bioclima	Bosque Seco Tropical
Temperatura Media Anual (°C)	27.6
Precipitaciones Media Anual (mm)	2700 a 950
Evaporación Media Anual(mm)	2700 a 1750
Evapotranspiración (mm)	2025 a 1313
Meses Secos	5 -12 a 4-5
Meses Húmedos	0-7 a 7-8

2.4 Características bióticas

2.4.1 Vegetación

El área de estudio se caracteriza por poseer bosques de galería medios semi-densos, para zonas de límites muy definidos a partir de los bosques del río. De alguna forma esta vegetación ha ido desapareciendo con el tiempo, casi en su totalidad para abrir camino a diversas actividades agropecuarias del sector y así como también a los asentamientos sub-urbanos y rurales (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994). El resto está ocupado por herbazales anegadizos, las cuales se presentan como comunidades que se caracterizan por la ausencia total de especies leñosas. Ocupan zonas que están sujetas a inundaciones periódicas de gran intensidad y duración tales como bancos, áreas depresionales de islas y otros sitios de rebalse.

2.4.2 Fauna

La fauna silvestre del estado Bolívar, alberga una gran variedad de especies que son características de los territorios del sur del río Orinoco, llegándose a reportar hasta 212 especies de mamíferos pertenecientes a 31 familias.

En la actualidad existen (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994) varias especies que se encuentran en peligro de extinción, dentro de las cuales tenemos: el perro de agua (*pteronurabrasiliensis*) y el manati (*trichechos manatos*), también se

encuentra amenazada de extinción: la tortuga arrau (*Podocnemis expansa*) y el conocido caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*).

Esta zona posee una gran biodiversidad de aves, las cuales oscilan aproximadamente entre 1.108 especies, de este total de aves sólo 41 representan una vital importancia en los aspectos económicos cinegético (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994). De igual manera se reportan 133 especies de reptiles repartidas en 18 familias.

2.4.3 Ictiofauna

El río Orinoco, en comparación con otros ríos latinoamericanos, presenta un ciclo hidrológico bien marcado que de una forma periódica introduce cambios en el ecosistema, generando variaciones en todos los componentes internos, tanto en la flora como en la fauna, debiéndose producir, por parte de éstos comportamientos adaptativos que de alguna manera le garanticen la sobrevivencia (Consultora Ingeniería Caura S.A, 1994).

La ictiofauna del río Orinoco se estima alrededor de 500 especies de peces la mayoría de ellas realizan movimientos migratorios para diversos fines, tales como reproducción dispersión o alimentación

2.5 Río Orinoco

Entre los ríos más caudalosos del mundo, el Orinoco ocupa el tercer lugar, después del Amazonas y del Zaire (Folleto N° 15 del Museo de Ciencias de Venezuela, 2001). Es también el tercer río más largo de Sudamérica y el número veinte en todo el planeta. Para Venezuela, el Orinoco constituye la principal reserva hídrica. La historia y el significado de este gigante de agua que comienza a formarse

en las espesas selvas de la Sierra de Parima, en el estado Amazonas, y que cruza de este a Oeste el escudo guayanés para luego, en un cerrado giro, atravesar el país en sentido contrario, recibiendo el tributo de 31 afluentes principales, ríos, riachuelos y quebradas. De éstos, los más importantes son 194. 95 por la margen derecha y 99 por la margen izquierda. Tiene una longitud de 2.140 Km y su cuenca cubre 1.015.000 Km²

El recorrido del río, se puede dividir en tres partes (I.N.C, S. F):

Bajo Orinoco, desde el Atlántico hasta la boca del río Apure, 880 Km. En esta parte, encontramos condiciones adecuadas para una buena navegación fluvial que, por un trecho de 360 Km, es también marítima.

Orinoco Medio, de unos 550 Km. Entre la boca del Apure y San Fernando de Atabapo. En este tramo están ubicados los raudales de Atures y Maipures y las condiciones de navegación son más difíciles, por la reducción del caudal de agua, el incremento de las pendientes del lecho del río y el hecho de que en el cauce aparecen más obstáculos.

Alto Orinoco, de unos 710 Km, desde San Fernando de Atabapo hasta sus fuentes. En este tramo la navegación es todavía más difícil y en los últimos 250 Km es prácticamente imposible. Todas las distancias que se mencionan en este contenido se miden desde un punto considerando como Km 0, situado en el océano Atlántico, en la curva de profundidad 13m.

2.6 Geología Regional

El sector Barrancas se encuentra limitada geológicamente hacia el Norte por la Formación Mesa del pleistoceno y depósitos aluvionales del Orinoco venezolano, y hacia el Sur por las rocas del Precámbrico Inferior del Complejo de Imataca.

En base a características petrológicas y tectónicas, el escudo de Guayana ha sido dividido en cuatro provincias como son: Imataca, perteneciente al denominado cinturón granulítico, Pastora a los cinturones de rocas verdes, Cuchivero se caracteriza por grandes extensiones de granitos (1800 +/- 200 m.a) y granitos post-tectónicos (1500 m.a). La provincia de Roraima es una cobertura discordante sobre rocas pertenecientes a las provincias de Pastora o Cuchivero (González de Juana, 1980).

2.6.1 Complejo de Imataca

La Provincia de Imataca se encuentra ubicada al Norte de la Guayana venezolana, se extiende a lo largo del río Orinoco como una franja paralela a su rivera, posee una longitud aproximada de 500 km y una anchura variable de 65 a 130 km (González de Juana *et al*, 1980)

Su ubicación es aproximadamente desde el Oeste del río Caura, hasta el Este, donde finaliza con los sedimentos Deltaicos del estado Delta Amacuro, y al sur donde finaliza con las fallas de Santa Bárbara, Guri y el Pao.

El complejo de Imataca es una unidad rocosa, perteneciente al Precámbrico conformada principalmente por gnéises graníticos, gneises anfibolíticos, migmatitas, charnocuitas y en menor proporción cuarcitas ferruginosas. El grado metamórfico es alto (Estudio geo-tecnológico de Ciudad Guayana. C.V.G, 1977 en Mendoza, V. 2000).

Las rocas del Complejo de Imataca se localizan en la parte norte del estado Bolívar, formando un cinturón en sentido Noreste-Suroeste de unos 510 Km de longitud, bordeando el río Orinoco hasta penetrar el estado Amazonas (González de Juana 1980).

Dado que el suelo residual proveniente de rocas graníticas incrementa su espesor en área que se hallan preservadas de la erosión, es de esperarse que los mayores espesores de suelo residual se encuentren en las depresiones o siguiendo las fracturas de las rocas, en tanto que los menores espesores se encontraran en la cumbre de las elevaciones, en los terrenos de pendiente pronunciadas o en áreas contiguas a los cursos de agua (Estudio Geotecnológico de Guayana C.V.G, 1977 en Vicente Mendoza, 2000).

2.6.2 Formación Mesa

Según González de Juana (1980), se le asigna este término para definir la Formación que cubre las extensas mesas fisiográficamente características en la parte oriental en la Cuenca Oriental de Venezuela. La Formación Mesa se extiende geográficamente por los llanos orientales, desde el pie de monte de la cordillera de la Costa hasta unos pocos kilómetros, al Sur del río Orinoco en las cuencas bajas de los ríos Aro, Caroní y Yocoima donde se localizan las poblaciones de Puerto Ordaz y San Félix, abarcando los estados de los Llanos Orientales de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Sucre.

Al Norte del área de estudio, en la margen derecha del río Orinoco y especialmente entre los ríos Caroní y Orinoco, aflora una secuencia de capas de edad Pleistoceno asignada a la Formación Mesa la cual está formada por sedimentos de origen fluvial y palustre (Léxico Estratigráfico 1971).

Basándose en estudios realizados tanto en observaciones superficiales como en perforaciones la Formación Mesa sufre una gradación de más gruesos a más finos al alojarse en las cadenas montañosas del norte hacia el sur, y una gradación contraria, es decir, de más fino a más gruesos, desde la región central de Monagas, también

hacia el sur al acercarse al Macizo de Guayana (Estudio Geo-tecnológico de Guayana C.V.G. 1977 en Mendoza, V. 2000).

2.6.3 Depósitos aluviales

Son depósitos constituidos por limos, arcillas y arenas muy micáceas depositados por el río, Estos materiales son provenientes de la meteorización de las rocas del Complejo de Imataca y de la Formación Mesa, las cuales fueron arrastradas y depositadas por las aguas de escorrentía y por los vientos a partir del Holoceno hasta el presente, constituyendo las planicies aluvionales y el área de inundación periódica del Orinoco (González de Juana, et al 1980)

Están localizados en Monagas y en el Delta del río, donde van a concentrarse después de su recorrido.

2.7 Geología del área

El sector en estudio se encuentran limitado al Sur, por las rocas del Precámbrico Inferior del Complejo de Imataca y hacia el Norte por la Formación Mesa del Pleistoceno y Depósitos Aluvionales Recientes del Oriente Venezolano (Monagas); la geología de la parte Sur se caracteriza por presentar el flanco donde corre el mayor número de tributarios del Orinoco y también sus distribuidores principales. (Echeverría y Medina, 1992)

Litológicamente el sector Los Castillos está constituido por sedimentos de río provenientes principalmente del Complejo de Imataca los cuales son depositados en el lecho durante los proceso de erosión, sedimentación y transporte que anualmente realiza el río como parte de los cuatro ciclos que cumple. (Echeverría y Medina, 1992)

La litología está conformada por rocas clásticas no consolidadas (aluviones) con una permeabilidad variablemente alta y con una fecha aproximada de origen las cuales fueron formadas por material muy reciente, con alto contenido de mica. En cuanto a su sismicidad, el área en estudio presenta peligro sísmico medio con posibles deformaciones de la superficie terrestre. (Echeverría y Medina, 1992).

CAPÍTULO III

BASES TEÓRICAS

3.1 Antecedentes o estudios previos

Citaremos trabajos previos e información bibliográfica relacionada con el sector en estudio, como por ejemplo:

Arness, Echeverría y Guerrero (2016), elaboraron una investigación titulada “ESTUDIO SOBRE LA EROSIÓN Y SOCAVACIÓN EN LAS FUNDACIONES DEL MALECÓN DE LA POBLACIÓN BARRANCAS DEL ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”, en el cual se realiza una descripción de los aspectos hidrológicos, geotécnico-texturales y geomorfológicos que prevalecen en el área de estudio y cuyos resultados son un valioso aporte para la investigación que se pretende realizar en el sector Barrancas por tratarse de la misma área de estudio de la presente investigación. Esa investigación aportará la caracterización textural de los sedimentos del lecho del sector Barrancas, lo cual servirá de apoyo para el análisis de la estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación.

Bejarano, M. y Echeverría, D. (1990), elaboraron el trabajo de investigación titulado “ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR BARRANCAS EN EL RÍO ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”. Dicho trabajo tuvo como objetivo principal describir las condiciones del flujo en cuanto a su velocidad, caudal y niveles, así como también caracterizar texturalmente los sedimentos del lecho de dicho sector. Esta investigación metodológicamente significa un aporte valioso como guía del presente estudio ya que en ella, se describen

las características texturales de las muestras que durante ese estudio se tomaron en el sector Barrancas.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Canales abiertos

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua, fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. En los canales naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes en las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras etc., así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales; las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las

condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños (Chow, 1994).

3.2.2 Tipos de flujo en canales

3.2.2.1 Flujo permanente.

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas, son constantes en el tiempo, a pesar de que las mismas no lo sean en el espacio. Las características de este tipo de flujo se pueden describir como: Velocidad (V), Caudal (Q), y Calado (h), estas son independientes del tiempo, pero podrían variar a lo largo del canal (Chow, 1994).

3.2.2.2 Flujo transitorio o no permanente.

Es el que presenta cambios en sus características al paso del tiempo, para estudiar el comportamiento del canal (Chow, 1994).

3.2.2.3 Flujo uniforme.

Este es el que se da en un canal recto, cuya sección es de pendiente constante, y se encuentra a una distancia considerable de los puntos en que se realizan las mudanzas de sección transversal, puede ser de forma, de rugosidad, cambio de la pendiente o en una variación del caudal (Chow, 1994).

3.2.2.4 Flujo gradualmente variado.

Es cuando la profundidad de flujo cambia a través de la longitud del canal.

Este puede ser permanente o no permanente. Se clasifica en rápidamente variado o gradualmente variado, dependiendo de la profundidad del agua (Chow, 1994).

3.2.2.5 Flujo sub-crítico o flujo lento.

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección (Chow, 1994).

3.2.2.6 Flujo crítico.

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad (Chow, 1994).

3.2.2.7 Flujo supercrítico.

En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba (Chow, 1994).

3.2.3 Estados del flujo

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo (Chow, 1994).

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser laminar, turbulento o de transición.

El flujo es laminar si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, que la viscosidad juega un papel importante para determinar el

comportamiento del flujo. En flujo laminar, las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitesimalmente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes.

El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. En el flujo turbulento, las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total.

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición. El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. En efecto, el hecho de que la superficie de una corriente parezca lisa y tersa para un observador no es en ningún modo una indicación de que el flujo sea laminar; más probablemente, ello indica que la velocidad de la superficie es más baja que la requerida para que se formen ondas capilares.

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el Número de Froude.

Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina supercrítico.

Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina subcrítico.

Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina crítico (Chow, 1994).

3.2.4 Distribución de velocidades en canales

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0,05 a 0,25 de la profundidad, cuanto más cerca de las bancas, más profundo se encuentra este máximo. En una corriente ancha, rápida, y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre.

La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la distribución vertical de velocidades. El viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades. En canales abiertos anchos, la distribución de velocidades en la región central de la sección es en esencia la misma que existiría en un canal rectangular de ancho infinito, los lados del canal no tienen prácticamente ninguna influencia en la distribución de velocidades en la región central. Un canal abierto ancho es similar a un canal rectangular cuyo ancho es mayor que diez veces la profundidad del flujo.

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, entre ellos la forma inusual de la sección, la presencia de curvas a lo largo del canal, etc. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo (Chow, 1994).

3.2.5 Geometría de canal

El termino sección de canal se refiere a la sección transversal de un canal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de

canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares (Chow, 1994).

3.2.6 Degradación del cauce

Los materiales se degradan en diferentes tiempos: suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Sin embargo, la degradación final de suelos cohesivos o cementados puede ser tan profunda como la de suelos arenosos, variando el tiempo en el cual se produce. Por ejemplo, bajo condiciones de flujo constante, la degradación máxima se alcanza en horas para suelos arenosos, en tanto que puede tardar días en suelos cohesivos, meses en depósitos glaciales, piedras areniscas y pizarras, años en piedra caliza y siglos en rocas tipo granito. Es posible que varias crecientes se requieran para que se produzcan las máximas pérdidas de material, especialmente en suelos cohesivos (García, M y Maza J., 1998).

La interacción entre el flujo y el material granular aluvial ha sido más ampliamente estudiada debido a que es el caso más frecuente asociado con problemas en la hidráulica de ríos.

Los sedimentos tienen su origen en el lecho, en las laderas del río y en la cuenca hidrográfica.

Una corriente puede transportar material de tres maneras: 1) en solución, 2) en suspensión 3) por carga de fondo y 4) por flotación.

Debido al proceso de transporte, el sedimento presente en una determinada sección del canal, en un momento dado, ha experimentado cambios en cuanto a su forma, tamaño y distribución de tamaños; esos cambios se deben principalmente a los fenómenos de abrasión y al de selección hidráulica.

3.2.6.1. Abrasión: es la reducción en tamaño de las partículas de sedimento por acción mecánica, tal como impacto, deslizamiento, frotación (fricción), rotación, salto, suspensión intermitente o continua (dependiendo de la intensidad del flujo).

3.2.6.2. Selección o clasificación hidráulica: consiste en el agrupamiento, por la acción del flujo, de las partículas de sedimento que responden al flujo en una manera similar; al mismo tiempo, en la separación de aquellas partículas que responden al flujo en una forma diferente.

Partículas entre 1 y 10 mm tienden a moverse por rotación sobre los granos más abundantes (arenas) y pueden ser transportadas rápidamente ($1 \text{ mm} < D < 10 \text{ mm}$). Arenas de tamaño grueso a fino ($0.0625 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$) se mueven por tracción y suspensión intermitente con depositación temporal en dunas y barras puntuales. Limos y arcillas ($D < 0.0625 \text{ mm}$) se mueven principalmente en suspensión continua (como carga de lavado) y pueden ser transportados rápidamente hasta la salida de la cuenca o pueden ser rápidamente depositados en las llanuras de inundación.

3.2.7 Hidrología fluvial

En los sistemas o medios fluviales existe un conjunto de canales de drenaje organizado de manera coherente y convergente llamados cuencas hidrográficas, las cuales se entrelazan por una red de cauces o canales que convergen con respuesta hidrológica hacia el mar, como punto geográfico del sistema y muchas veces formando un sistema ramificado dendrítico. El cual tendrá una respuesta hidrológica al llegar al océano, descargando en la boca de desembocadura, el volumen del agua y la carga de sedimentos no depositados en la cuenca hidrológica, lo cuales han viajado por saltación o suspensión (Miall, A., 1981).

El volumen de material transportado, sometido a cualquiera de los mecanismos de transporte pero siempre en contacto con el fondo del río, es que se llama carga de fondo donde una corriente de agua fluyendo sobre una capa de arena, limo y arcilla puede transportar partículas por dos vías: tal como la carga o peso de sedimentos. La carga suspendida, donde el volumen del material restante, el cual está constituido por las partículas finas que son transportadas sin tener contacto con el fondo del canal (en suspensión) y se le denomina carga en suspensión (Figura 3.1). Estos dos parámetros son los que definen la configuración geométrica del canal y el tipo de depósito allí presente (Hjulstrom, F., 1935).

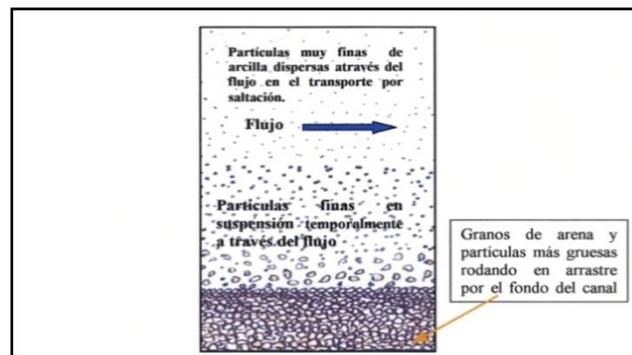


Figura 3.1 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Hjulstrom, F., 1935).

3.2.8 Análisis granulométrico por el método del tamizado

El análisis de granulometría se utilizó para determinar la variación del tamaño de los granos de los sedimentos.

Los resultados del mismo servirán para determinar la competencia y eficiencia del agente de transporte, así como también en caso de ser este último el agua, la mayor o menor proximidad de la roca generadora (Pettijohn F, 1970).

En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra.

La tabla de clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth (Tabla 3.1), es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

Tabla 3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth(Pettijohn, 1949).

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA		
PSEFITA	Bloque	Aglomerado <i>Aglomerado (Grava de bloques)</i>		Aglomerado <i>Aglomerado (Conglomerado de bloques)</i>		
	Guijón	Grava	256	Conglomerado o brecha		
	Guijarro		<i>Gruesa</i>		128	<i>Grueso</i>
	Guija		<i>Mediana</i>		64	<i>Mediano</i>
<i>Fina</i>		32	<i>Fino</i>			
PSAMITA	Grano	Arena	16	Arenisca		
			8		<i>Muy gruesa</i>	
			4		<i>Gruesa</i>	
			2		<i>Mediana</i>	
			1		<i>Fina</i>	
			0,5		<i>Muy fina</i>	
			0,25		<i>Grueso</i>	
			0,125		<i>Mediano</i>	
PELITA	Partícula	Limo	0,062	Limolita		
			0,031		<i>Muy gruesa</i>	
			0,016		<i>Gruesa</i>	
			0,008		<i>Mediana</i>	
			0,004		<i>Fina</i>	
		Arcilla	Arcilla	0,002	<i>Muy fina</i>	
				0,001	<i>Gruesa</i>	
				0,0006	<i>Mediana</i>	
					<i>Fina</i>	
					<i>Muy fina</i>	

3.2.9 Forma, redondez y esfericidad

3.2.9.1 Forma

Se define de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un clasto.

Se realiza definiendo tres ejes en un clasto. El diámetro mayor (a), el diámetro intermedio (b) y el menor (c) que puedan ser perpendiculares entre si y que pueden o no cortarse en un punto. (a = longitud, b = anchura y c = espesor) (Figura 3.2)

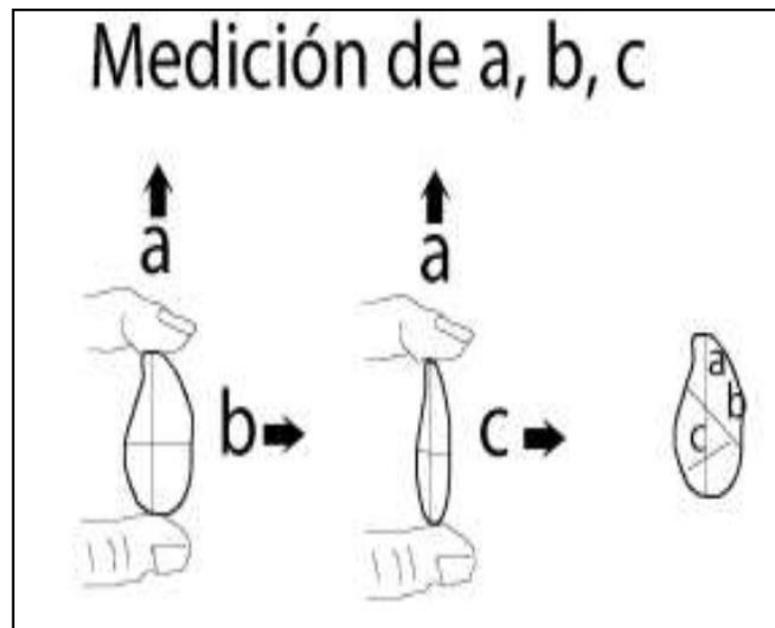


Figura 3.2 Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).

La forma de las partículas ha sido usada para tratar de interpretar su historia de transporte. Esta depende de muchos factores como:

1. Forma de la partícula en la roca al ser liberada por los procesos de meteorización.

2. Composición y estructura química de las partículas, estas le van a conferir mayor o menor resistencia a los agentes de meteorización.
3. Dureza, fractura y clivaje de las partículas sedimentaria.
4. Tamaños de las partículas.

3.2.9.2 Redondez

La redondez, es la propiedad geométrica de las partículas que nos ayuda a interpretar por medio de un análisis morfológico, la historia geológica de los sedimentos, basándonos en la clasificación comúnmente usada como lo es la clasificación de Pettijohn (1980). Podemos resumir esta clasificación en lo siguiente (Figura 3.3).

- Angulosos (0-0,15 mm): el desgaste se presenta muy poco o ninguno, siendo sus aristas y vértices agudos.
- Sub-angulosos (0,15 - 0,25 mm): muestran los efectos típicos del desgaste. Los fragmentos mantienen todavía su forma primitiva
- Sub-redondeados (0,25 - 0,40 mm): muestran considerable desgaste, las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentran bastante reducidas, pero se mantiene todavía la forma primitiva del grano.
- Redondeados (0,40 - 0,60. mm): caras originales completamente destruidas, pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos

cóncavos entre caras remanentes. Todas las aristas y los vértices originales han sido pulido hasta curvas suaves y amplias.

- Bien redondeados (0,60 - 1,00 mm): sin caras originales, sin aristas ni vértices, la superficie consta totalmente de curvas amplias, carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano.

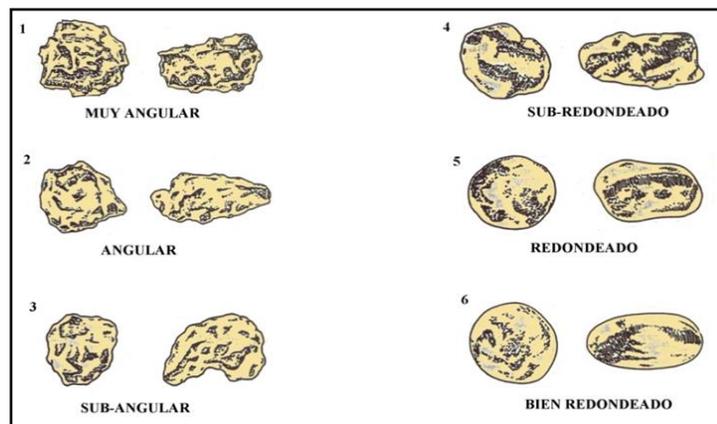


Figura 3.3 Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).

3.2.9.3 Esfericidad

Se define como el grado en que un elemento clástico se aproxima en su forma a una esfera (Wadell, 1932), por lo tanto define el comportamiento dinámico de la partícula.

3.2.10 Representación gráfica de los datos granulométricos

Los datos granulométricos fueron representados gráficamente para su fácil comparación. Los gráficos utilizados son: Histograma de frecuencia, Curva de frecuencia simple, Curva de frecuencia acumulativa (Phi).

3.2.10.1 Histograma de frecuencia

En el histograma se representan la frecuencia con que aparecen las partículas entre ciertos tamaños.

Su gráfica facilita la comprensión y visualización de la granulometría de un sedimento. Se realizaron histogramas de frecuencia con el fin de caracterizar la distribución de cada muestra.

3.2.10.2 Curva de frecuencia simple

Para construir la curva de frecuencia consiste en unir los puntos superiores de cada barra. La escala horizontal se hace logarítmica.

3.2.10.3 Curva de frecuencia acumulativa phi

La curva de frecuencia acumulativa emplea papel aritmético, colocando en el eje horizontal los términos de la escala Phi y en el vertical, los porcentajes de 10 a 100%; para mayor claridad suele colocarse también en la escala horizontal, los equivalentes de la escala de Wentworth y en micrones los términos de Phi. Para hacer los puntos de la curva, se tomaran los valores en micrones de las aberturas de tamices entre los cuales queda cada porción, se hallan los equivalentes Phi por medio de la curva de conversión, y se colocan estos valores en el eje horizontal.

En cada uno de estos puntos se levanta una ordenada hasta el valor del porcentaje acumulado correspondiente.

Uniendo estos puntos se obtiene la curva de frecuencia acumulativa.

3.2.11 Morfología de ríos sinuosos

La sinuosidad de un cauce es el mecanismo natural por el cual un río ajusta su pendiente buscando un equilibrio dinámico en los procesos de erosión, transporte y sedimentación que constituyen la configuración y geometría del cauce. La figura 4.1 muestra un esquema con los parámetros principales de un meandro. La movilidad de los meandros puede clasificarse en dos categorías: a) la migración hacia aguas abajo de todo el meandro y b) la expansión de la curvatura del meandro, su estrangulamiento y finalmente el corte del mismo. El desarrollo de meandros incrementa la longitud del río y por consiguiente disminuye la pendiente (Leliavsky, 1964) .

3.2.12 Afectación de la morfología de un río sinuoso

La morfología de un río sinuoso puede verse afectada por diversas causas entre las que se pueden incluir aquellas que son naturales y características del sitio de estudio, como también, las provocadas por la acción del hombre, algunas de las causas naturales son las siguientes:

Confinamiento geológico: influyen principalmente en las formas y tamaños de las curvas.

Corte de meandros: ocurre generalmente durante una avenida y depende de la curvatura, la rugosidad, la vegetación, la geometría del cauce mismo y la magnitud de la avenida.

Reducción de la velocidad del flujo debido a un incremento de la sinuosidad (Leliavsky, 1964)

3.2.13 Erosión de márgenes

La erosión de las orillas representa dos procesos, la erosión por fricción y la falla de la banca. La primera es causada directamente por el esfuerzo cortante en la superficie de la banca, y la segunda se debe al mecanismo de falla del material del talud iniciada en la pata del mismo, que también está determinado por el cizallamiento.

El tiempo de la falla se relaciona con muchos procesos hidrológicos, tales como presión de poros, nivel freático, la densidad de la vegetación y las avenidas (Leliavsky, 1964).

3.2.14 Procesos físicos del flujo en curvas

Debido a la fuerza centrífuga, en la parte externa de una curva el flujo presenta sobreelevación, lo cual conlleva a que se presente una diferencia de presiones en la sección; este fenómeno hace que se originen corrientes secundarias desde la parte superior hacia el fondo en una misma sección transversal. Estas corrientes superficiales son dirigidas hacia los bancos externos mientras que las corrientes de fondo son dirigidas hacia los bancos internos. Como consecuencia de este proceso la sección de curva de un río presenta una pendiente transversal típica como se muestra en la Figura 3.4.

Esta sobreelevación del flujo ocasiona un movimiento helicoidal en respuesta a dicha corriente secundaria que se establece en dirección perpendicular al sentido del escurrimiento principal (Leliavsky, 1964).

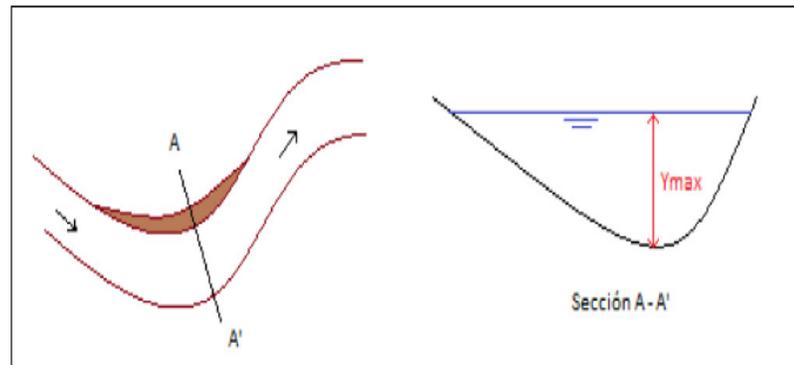


Figura 3.4 Profundización del lecho en la curva de un río (Cardenas, 2012).

3.3. Métodos de estabilidad de taludes sumergidos

3.3.1 Estabilidad de taludes sumergidos

Según Maccelland, 1967 (citado por Medina, 1992), la inestabilidad de Taludes submarinos ha sido observada o inferida en el fondo del Océano en pendientes cuyos valores oscilan entre 0.5 a más de 30 grados, aunque las fuerzas de la gravedad son de primera importancia en producir los deslizamientos, las Ocurrencias hidrodinámicas y tectónicas también le dan origen a las fallas. Varias fallas de estructuras costa afuera han sido causadas por la inestabilidad de los sedimentos.

A continuación se citarán algunas de las principales razones por las cuales se hace complejo el entendimiento del mecanismo de la inestabilidad de taludes sumergidos, estos son:

1. Se cuenta con una documentación muy escasa de la inestabilidad ocurrida en los suelos sub-acuosos.
2. Los inconvenientes para determinar los parámetros de suelo y las mediciones de comportamiento in situ.

3.3.2 Suelo marino

Según Maccelland, (1967), citado por Medina, (1992) los sedimentos de mayor interés son los correspondientes a la franja costera, generalmente con profundidades menores a 100m. Aún para las explotaciones petroleras que en a mediano plazo, no resulta probable que se alcance los 500 m de profundidad, en estas áreas los sedimentos presentes son de origen continental, con una composición que corresponde con exactitud al mismo.

3.3.2.1. Sedimentos arcillosos

Según Maccelland, 1967 (citado por Medina, 1992), Se han depositado en aguas salinas. Las arcillas se han floclado, incluyendo partículas limosas e incluso arenosas debido a que han sido transportadas en su mayoría por suspensión en el agua dulce de los ríos. Suelen estar normalmente consolidados, (si exhiben sobre-consolidación, ésta es de origen físico-químico debido a su envejecimiento). Hay sin dudas, sedimentos marinos sobre- consolidados por el peso de las capas que de cierta forma han sido sometidas a procesos erosivos.

Se encuentran áreas de gran extensión, en donde las orillas están infra-consolidadas, es decir en proceso de consolidación. Los sedimentos arcillosos presentan un estado de contaminación, debido a la acción de elementos orgánicos.

El valor de la resistencia al esfuerzo cortante (C_u) a diferentes profundidades se puede determinar in situ, por medio de la veleta (molinete) ó mediante la implementación del penetrómetro estático Holandés, sabiendo que:

$$C_u = \frac{q_c}{17} \quad (3.1)$$

Para arcilla normalmente consolidadas y Arcillas sobre-consolidadas, donde q_c = resistencia de punta, en kg/cm^2 .

$$CU = \frac{q_c}{25} \quad (3.2)$$

Existen varias correlaciones conocidas para sedimentos arcillosos, dentro de las cuales tenemos:

$$CU = (0.11 + 0.0037 IP) \delta \dots \quad (3.3)$$

Cuando no se dispone directamente de IP:

$$IP = 0.73 (w_l - 13) \quad (3.4)$$

Por otra parte, se puede utilizar la correlación hallada por McceLand (1967) en el Delta del Mississippi.

$$IP = 0.825 w_l - 14. \quad (3.5)$$

$$Ling\delta = 1.15 - 1.79 IL \quad (3.6)$$

$$IL = \frac{W - WP}{IP} \quad (3.7)$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad (%)

WL = Límite Líquido (%)

WP = Límite Plástico (%)

W = % de Humedad natural

δ = Presión de consolidación

Conociendo la presión de consolidación, δ equivalente para cada IL, se pueden obtener:

$$CU = (0.11 + 0.0037 IP) + 10 (1.15 - 1.79 IL) \quad (3.8)$$

McClelland (1967), basándose principalmente en datos obtenidos en el Delta del Mississippi obtuvo la ecuación (5.9) la cual, arroja valores que vienen a representar la mitad de los indicados en la Ecuación anterior (8).

$$CU = 0.10 + 0.25\delta \text{ (kgr/cm}^2\text{)} \quad (3.9)$$

3.3.2.2. Sedimentos arenosos

Los sedimentos arenosos están contaminados por elementos de origen orgánico que consisten principalmente de elementos de conchas.

Estos materiales tienen menor rozamiento interno y generalmente mayor compresibilidad que las arenas continentales.

Incluso, bajo presiones no muy elevadas, se rompen dichos fragmentos de concha dando origen a un evento que puede ser calificado como colapso.

En las zonas abrigadas, las arenas de deposición suelen estar sueltas y son susceptibles a los procesos de licuefacción y de colapso. Suelen ser también muy erosionables.

Dependiendo de la antigüedad de las arenas, estas presentarán en la mayoría de los casos cierta cementación ya sea por soldadura directa de sus granos o por deposición de caliza, bien sea, de origen orgánico u otro proceso diagenético (Leliavsky, 1964).

3.3.3. Estabilidad de los taludes de las orillas según la teoría del arrastre

Según Tapia (1983), el método del arrastre puede utilizarse para el estudio del caudal sólido, como para el cálculo de secciones del cauce a prueba de erosión y de la fortaleza que requiere el revestimiento de los taludes laterales del río o canal. Para la solución de la estabilidad de taludes se debe considerar el efecto que el flujo de agua ejerce sobre el ángulo de reposo (ϕ) del material que forma el cauce. Generalmente este valor particular se refiere a los taludes no sumergidos; es decir, aquella porción situada por encima de la superficie del agua. Para las pendientes sumergidas, además del efecto físico del agua, hay que tener en cuenta la fuerza de tracción, de arrastre del agua, la cual reduce el valor del ángulo de reposo.

En la figura 3.1 se observan las diferentes presiones que se ejercen en un talud, en ella W , es el peso sumergido de un cierto volumen o porción de material localizado en la superficie de una orilla, cuya pendiente (α) está en cierto grado de inclinación para que el material que la forma esté en reposo. En el caso del canal se tiene en cuenta, además de T y N , el efecto de arrastre (τ).

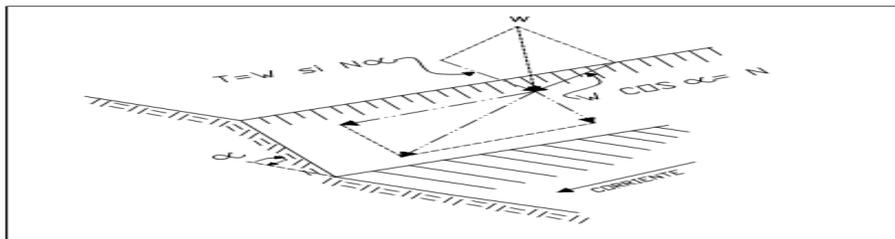


Figura 3.5. Diagrama de Presiones Tridimensionales para el cálculo de reposo del agua corriente (Tapia, 1983).

Siendo la línea de máxima pendiente, en un plano perpendicular al eje del canal, sino un eje inclinado.

Es evidente, según lo anterior que se calcula el criterio de estabilidad, se debe de igualar la fuerza de tracción $Ntg\phi$, con la resultante $\tau^2 + t^2$, de ambas fuerzas, τ es proporcional a la profundidad h y a la pendiente hidráulica (s) y, por otra parte, puesto que la pendiente hidráulica en una sección normal al flujo es, dentro de los límites de este análisis, supuestamente constante. Se tiene que $\tau = \mu H$ en donde μ es una constante para esta sección.

El nuevo criterio de la estabilidad puede presentarse de la siguiente manera:

$$(H^2 + W^2 \text{sen}^2 \alpha)^{1/2} = W \text{cos} \alpha \text{tg} \phi \quad (3.10)$$

El estudio de esta ecuación mostrará que para cada valor H se obtendrá un valor correspondiente de α . Es decir, que viene a representar la ecuación del trazado de las curvilíneas de la sección transversal del río o canal, englobando un factor constante de estabilidad a lo largo de su recorrido.

Es importante resaltar que la estabilidad de los taludes de un canal, dependen principalmente de las propiedades del material que forma el cuerpo del talud, influenciado un poco por la hidráulica del flujo presente en el canal (Tapia, 1983).

3.3.4 Método de la velocidad permisible

Según Chow (1994), a partir del criterio de máxima velocidad permisible, el procedimiento de diseño para una sección de canal, consiste en los siguientes pasos:

1. Para la clase determinada de material que conforma el cuerpo del canal, estimar el coeficiente de rugosidad n , la pendiente de talud lateral z y la velocidad máxima permisible (tabla 5.3).

$$z = \frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}} \quad (3.11)$$

2. Calcular el radio hidráulico R a partir de la ecuación de Manning,

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.12)$$

3. Calcular el área mojada requerida para el caudal y la velocidad permisible,

$$A = \frac{Q}{V} \quad (3.13)$$

4. Calcular el perímetro mojado,

$$P = \frac{A}{R} \quad (3.14)$$

5. Utilizando las expresiones para A y P donde se denoten los elementos geométricos de un canal trapezoidal, resolviéndolo simultáneamente para b y y .

$$A = (b + zy)y \quad (3.15)$$

$$P = b + 2y \sqrt{1 + z^2} \quad (3.16)$$

3.3.5 Velocidad máxima permisible

Según Chow (1994), la velocidad máxima permisible o velocidad no erosionante es la mayor velocidad promedio que no causará erosión en el cuerpo del canal. Esta velocidad es muy incierta y variable, y sólo puede estimarse con base en experiencia y criterio.

En general, los canales viejos y que han soportado muchos periodos hidrológicos permiten velocidades más elevadas que los canales nuevos, asumiendo que las condiciones del lecho de un canal viejo se encuentran estables, en particular con la sedimentación de materia coloidal. Cuando otras condiciones son iguales, un canal más profundo conducirá el agua con una velocidad media más elevada sin erosión que un canal poco profundo.

Es probable que esto se deba a que la socavación primordialmente es causada por las velocidades cerca del fondo y, para la misma velocidad media, las velocidades cercanas al fondo son mayores en canales poco profundo, así como también serán elevadas en los taludes del canal.

Según Fortier y Scobey, 1925 (Citado por Ven Te Chow, 1994), publicaron una tabla donde muestran las velocidades permisibles en canales, la cual se muestra en la tabla 3.2.

Estos valores que se muestran corresponden a canales por las cuales han transcurrido muchos períodos hidrológicos, situados en pendientes pequeñas y para profundidades de flujo menores a 3 pies, mostrando también los valores de n

adecuados para distintos materiales y los valores convertidos para las fuerzas tractivas permisibles correspondientes.

Tabla 3.2 Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los valores correspondientes de fuerza tractiva unitaria convertidos por el U. S. Bureau of Reclamation (Chow, 1994).

Material	n	Agua limpia		Agua que transporta limos coloidales	
		V, Pies/s	τ_o , lb/pie ²	V, Pies/s	τ_o , lb/pie ²
Arena fina	0.020	1.50	0.027	2.50	0.075
Marga arenosa no coloidal	0.020	1.75	0.037	2.50	0.075
Marga limosa no coloidal	0.020	2.00	0.048	3.00	0.11
Limos aluviales no coloidales	0.020	2.00	0.048	3.50	0.15
Marga firme ordinaria	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Ceniza volcánica	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Arcilla rígida muy coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Limos aluviales coloidales	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Esquistos y subsuelo de arcilla dura	0.025	6.00	0.67	6.00	0.67
Grava fina	0.020	2.50	0.075	5.00	0.32
Marga gradada o cantos rodados, no coloidales	0.030	3.75	0.38	5.00	0.66
Limos gradados o cantos rodados coloidales	0.030	4.00	0.43	5.50	0.80
Grava gruesa no coloidal	0.025	4.00	0.30	6.00	0.67
Cantos rodados y ripios de cantera	0.035	5.00	0.91	5.50	1.10

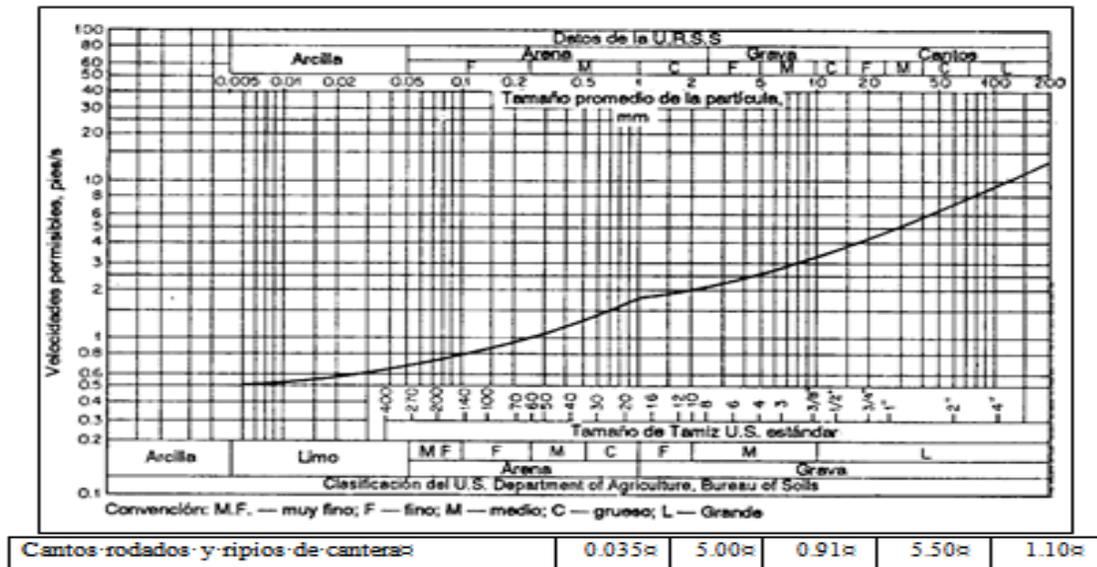


Figura 3.6 Velocidades permisibles en suelos cohesivos (Chow, 1994).

Las velocidades máximas permisibles mencionadas anteriormente se refieren a canales rectos. Para canales sinuosos, las velocidades deben ser más bajas para reducir la socavación.

3.3.7. Método de la fuerza tractiva

Según Chow (1994), el primer paso para el diseño de canales erosionables mediante el método de la fuerza tractiva consiste en seleccionar una sección de canal aproximada mediante experiencia o mediante el uso de tablas de diseño, recolectar muestras del material presente tanto en el lecho como en el talud canal y determinar, utilizando estas muestras, las propiedades requeridas. Con estos datos, se procede a investigar la sección mediante el análisis de la fuerza tractiva para asegurar una estabilidad probable por tramos y para determinar la sección mínima que aparece estable. Para canales en materiales no cohesivos, el efecto de rodar hacia abajo a lo largo de la pendiente lateral debe considerarse junto con el efecto de la distribución de las fuerzas tractivas; para canales hechos en material cohesivo el efecto de rodar es

insignificante, y el efecto de la distribución de la fuerza tractiva por sí solo constituye un criterio suficiente.

3.3.8. Fuerza tractiva

Cuando el agua fluye en un canal, se desarrolla una fuerza que actúa sobre el lecho de éste en la dirección del flujo. Esta fuerza la cual es sencillamente el empuje del agua sobre el área mojada, se conoce como fuerza tractiva. En un flujo uniforme la fuerza tractiva en apariencia es igual a la componente efectiva de la gravitacional que actúa sobre el cuerpo de agua, paralela al fondo del canal e igual a $\gamma_w ALS$, donde:

γ_w : peso unitario del agua

A: área mojada

L: longitud del tramo del canal

S: pendiente del canal

Luego, el valor promedio de la fuerza tractiva unitaria τ_o , es igual a $\gamma_w ALS/PL = \gamma_w RS$, donde:

P: perímetro mojado

R: radio hidráulico

$$\tau_o = \gamma_w RS \quad (3.17)$$

En un canal abierto ancho, el radio hidráulico es igual a la profundidad de flujo y ; por consiguiente

$$\tau_o = \gamma_w yS \quad (3.18)$$

Según Chow (1994) el U.S. Bureau of Reclamation, ha utilizado la analogía de la membrana y métodos analíticos y de diferencias finitas para determinar la distribución de fuerza tractiva en canales trapezoidales, rectangulares y triangulares. En la figura 3.7 se muestra una distribución común de fuerza tractiva en un canal trapezoidal resultante de un estudio de analogía de la membrana. El patrón de distribución varía con la forma de la sección, pero prácticamente no se afecta por el tamaño de ésta.

Basándose en mencionados estudios, se realizaron algunas curvas (figura 3.7) donde se pueden apreciar las fuerzas tractivas unitarias máximas en los lados de diferentes secciones de canal para uso de diseño.

En general en los canales trapezoidales con formas utilizadas a menudo, la fuerza tractiva máxima en el fondo es cercana al valor $\gamma_w y S$, y en los lados, cercanas a $0.76 \gamma_w y S$.

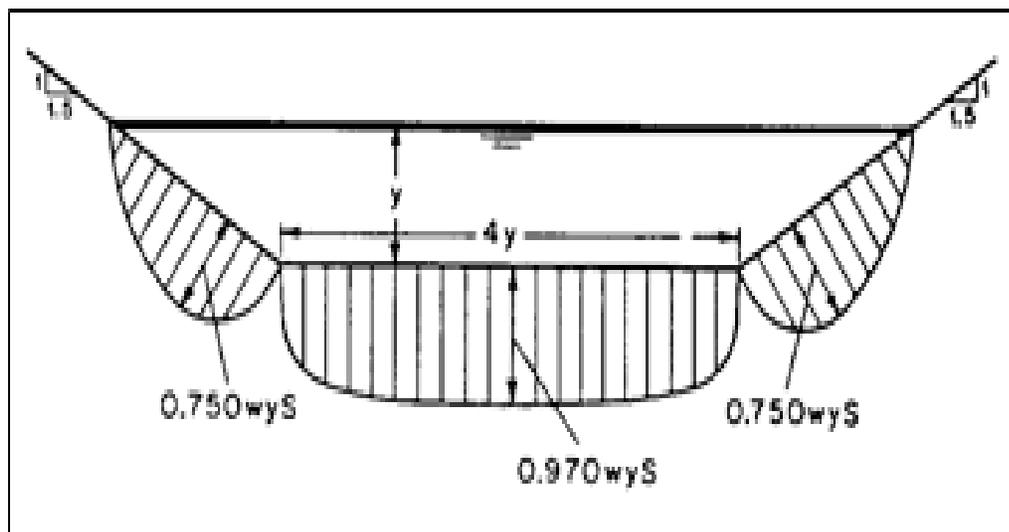


Figura 3.7 Distribución de la fuerza atractiva en una sección de canal trapezoidal (Chow, 1994)

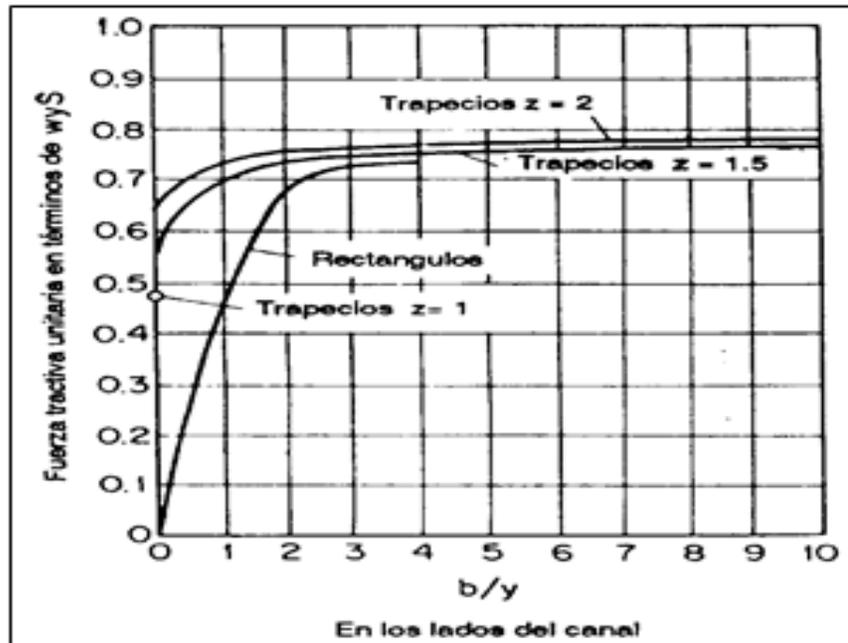


Figura 3.8 Fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de wyS
(Fuente: Chow, 1994).

3.3.9. Relación de la fuerza tractiva

Según Ven Te Chow (1994), sobre una partícula de suelo que descansa en la pendiente lateral de una sección de canal (figura 5.6) en la cual se encuentra fluyendo agua, actúan dos fuerzas: la fuerza tractiva τ_{ts} y la componente de la componente gravitatoria $W_s \sin\theta$, la cual hace que la partícula ruede a lo largo de la pendiente lateral. Los símbolos utilizados son:

a = área efectiva de la partícula

τ = fuerza tractiva unitaria en la pendiente del canal

W_s = peso sumergido de la partícula

ϕ = ángulo de la pendiente lateral

θ = Angulo de reposo de la partícula

τ_o = Fuerza tractiva en términos de $\gamma_w y S$

γ_w = Peso unitario del gua

τ_L = Fuerza tractiva en el fondo del canal

K = Relación de fuerzas tractivas

La resultante de todas estas fuerzas las cuales forman un ángulo recto es:

$$\sqrt{W_s^2 \sin^2 \phi + a^2 \tau_s^2} \quad (3.19)$$

Cuando esta fuerza es lo suficientemente grande, la partícula se moverá. A partir del principio de movimiento de fricción en mecánica, puede suponerse que, cuando el movimiento es inminente, la resistencia al movimiento de la partícula es igual a la fuerza normal $W_s \cos \theta$ multiplicada por el coeficiente de fricción, o $\tan \theta$, donde θ es el ángulo de reposo. Luego,

$$W_s \cos \phi \tan \theta = \sqrt{W_s^2 \sin^2 \phi + a^2 \tau_s^2} \quad (3.20)$$

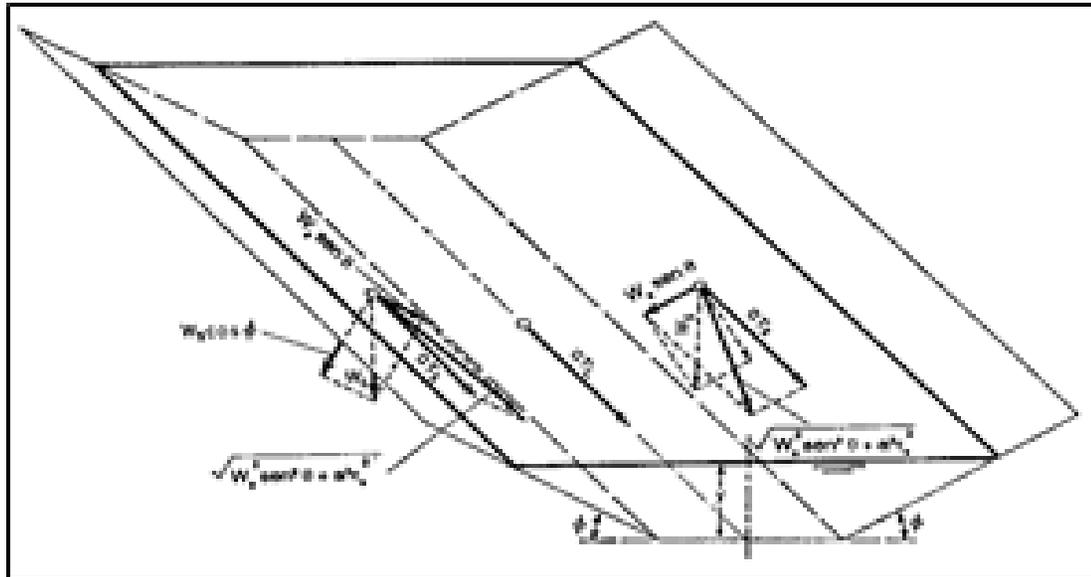


Figura 3.9. Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Fuente: Ven Te Chow, 1994)

Para el cálculo de la fuerza tractiva unitaria τ_s que causa el movimiento inminente en una superficie inclinada tenemos:

$$\tau_s = \frac{W_s}{a} \cos \phi \tan \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (3.21)$$

De igual manera, cuando el movimiento de una partícula sobre una superficie es inminente debido a la fuerza tractiva $a\tau_L$, lo siguiente se obtiene a partir de:

$$W_s \tan = a\tau_L \quad (3.22)$$

Al resolver para la fuerza tractiva unitaria τ_L que produce el movimiento inminente sobre una superficie plana,

$$\tau_L = \frac{W_s}{a} \tan \theta \quad (3.23)$$

Es necesario resaltar que la relación de τ_s a τ_L se conoce como relación de fuerza tractiva; ésta es una relación importante para propósitos de diseño. A partir de las ecuaciones a y c, la relación es

$$K = \frac{\tau_s}{\tau_L} = \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (3.24)$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \phi}{\text{sen}^2 \theta}} \quad (3.25)$$

Es importante resaltar que esta relación es función sólo de la inclinación ϕ del lado inclinado y del ángulo de reposo θ del material.

Para materiales cohesivos y materiales finos no cohesivos, las fuerzas de cohesión en el agua medianamente limpia, se vuelven tan grandes en comparación con la fuerza gravitacional, que hacen que la partícula ruede hacia abajo, que la fuerza gravitacional llegue a no ser considerada. Por consiguiente el ángulo de reposo necesita ser considerado sólo para materiales gruesos no cohesivos; este tiende a incrementarse tanto con el tamaño como con la angularidad del material.

3.3.10. Fuerza tractiva permisible

Según Chow (1994), la fuerza tractiva permisible es la fuerza tractiva máxima que no causa erosión importante en el material que forma una sección de canal.

La determinación de la fuerza tractiva permisible esta basada en el tamaño de la partícula para materiales no cohesivos y en la compactación o relación de vacíos para materiales cohesivos. Otras propiedades del suelo como el índice de plasticidad o la acción química pueden considerarse como índices para definir con mayor precisión la fuerza tractiva permisible. Por la falta de datos e información precisa acerca de los índices. El U.S Bureau of Reclamation realizó un estudio completo de materiales presentes en diversos canales, obteniendo como resultado una serie de valores que son recomendados para la fuerza tractiva permisible en el diseño de canales, estos desarrollaron de la siguiente manera:

1. Para materiales gruesos no cohesivos, con un factor de seguridad suficiente, el Bureau recomienda un valor tentativo para la fuerza tractiva permisible, en lb/pies^2 , igual a 0.4 veces el diámetro en pulgadas de una partícula para la cual el 25% (en peso) del material es mayor. Esta recomendación se muestra por medio de una línea recta en la tabla de diseño (figura 3.10).
2. Para material fino no cohesivo, el tamaño especificado es tamaño medio o el tamaño menor que el 50% en peso.

Tentativamente se recomiendan tres curvas de diseño (figura 3.8),

- a. Para canales con alto contenido de material fino en el agua
- b. Para canales con contenido de sedimento fino en el agua
- c. Para canales con agua limpia

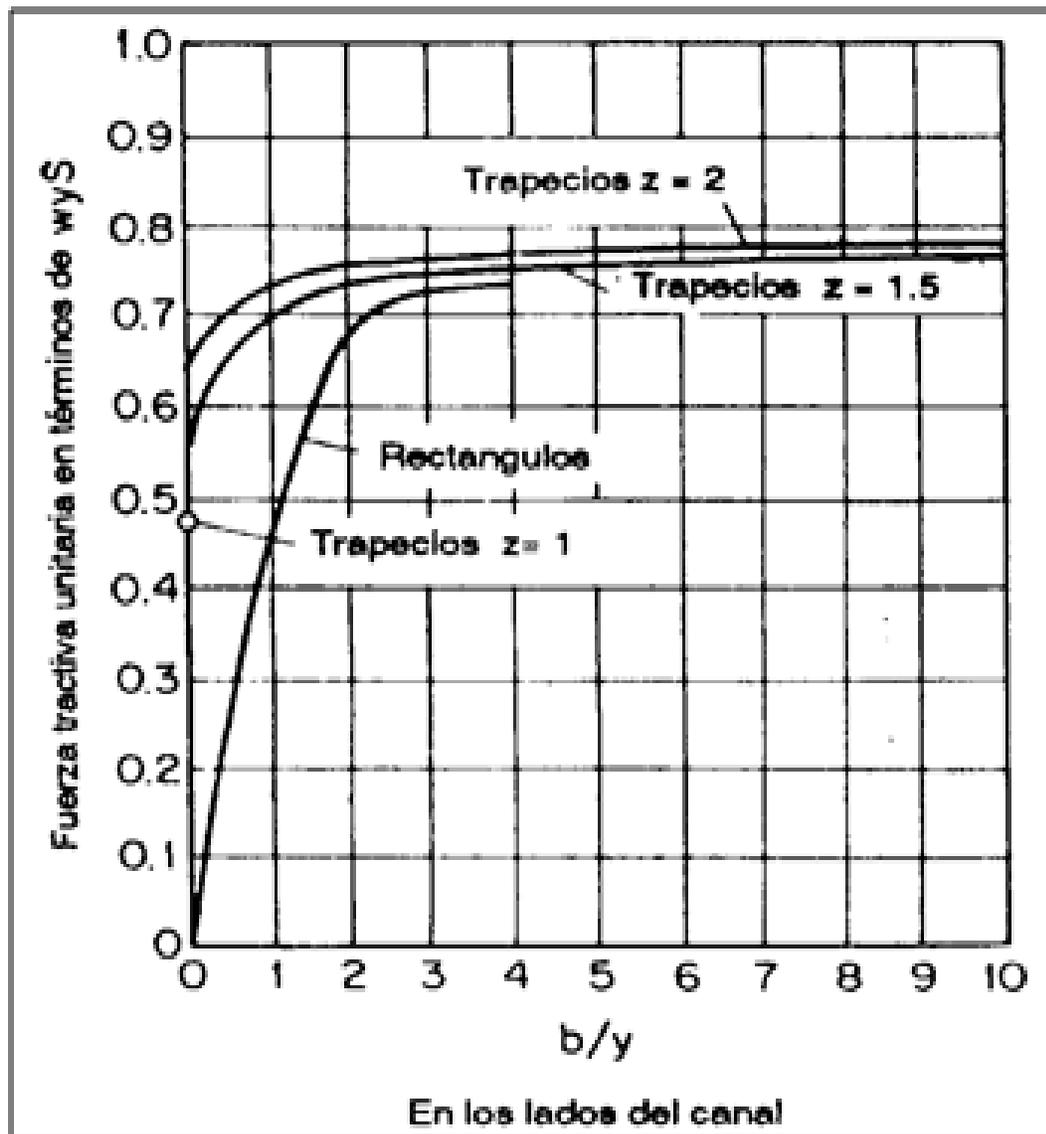


Figura 3.10. Fuerzas tractivas unitarias permisibles recomendadas por el U.S. Bureau Of. Reclamation, para materiales no cohesivos (Chow, 1994).

Para materiales cohesivos, los datos basados en la conversión de velocidades permisibles a fuerzas tractivas unitarias, dados en la tabla 3.3 y en la figura 3.9 se recomiendan como referencia de diseño.

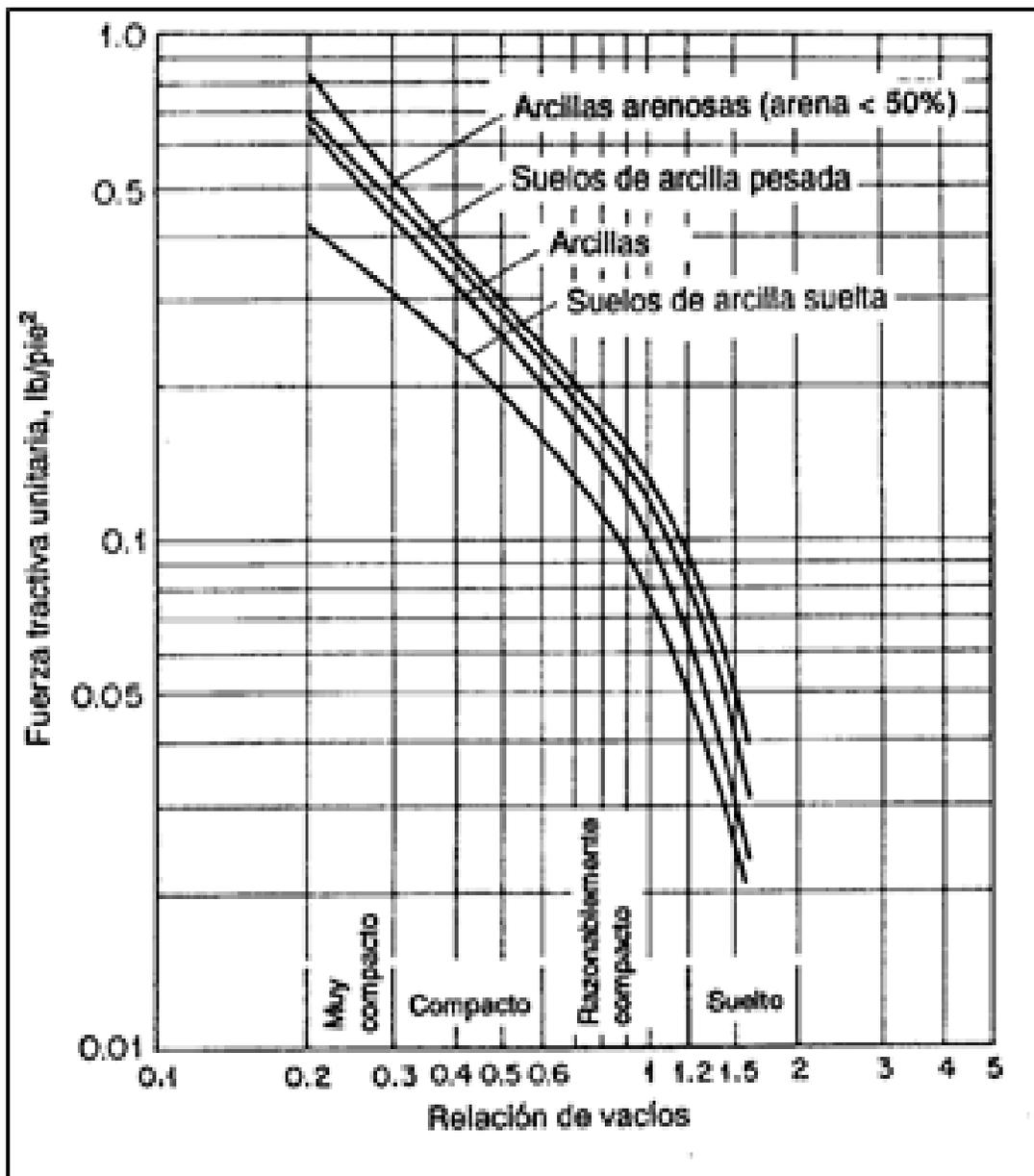


Figura 3.11. Fuerzas tractivas permisibles para canales en materiales cohesivos convertida por URSS sobre velocidades permisibles (Fuente: Ven Te Chow, 1994).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Balestríni M. (2006), dice que la investigación analítica por cuanto una vez hecha la identificación de las variables dependientes e independientes, estas son analizadas descritas y analizadas con base a los elementos que las integran.

Según Arias, F. (1996), dentro de su clasificación, este tipo de investigación estaría basada en estudios analíticos, ya que se describirán los hechos tal cual se observan en campo y se buscará el por qué de la ocurrencia o no de los mismos, estableciendo las relaciones de causa- efecto.

Por otra parte, se indica que la presente investigación es analítica por cuanto se describirá la condición física de los taludes y las circunstancias del entorno donde se encuentran, asimismo se analiza los parámetros que intervienen en su estabilidad.

4.2 Diseño de la investigación

Según el autor Arias, (2012), define: la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas, como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Palella y Martins, (2010), define: La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin

manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta.

Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos planteados.

De acuerdo con la manera de enfocar el problema y las estrategias o métodos aplicados en el mismo para lograr los objetivos, se puede afirmar que el diseño de la investigación es de campo, debido a que consistirá en la recolección de datos del entorno (vegetación, relieve de riberas, etc) directamente del sitio donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, y documental porque requiere del análisis de la información de carácter hidrológico medida y registrada por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (actualmente, MPPP el Eco-socialismo y Agua.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Según Arias, F., (1996), la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación.

En el presente caso se consideró como población de la investigación a todo el cuerpo de agua que transita por el sector Barrancas y a todos los materiales que constituyen los taludes del canal de navegación del río Orinoco.

4.3.2 Muestra de la investigación

Está constituida por nueve (9) ejemplares o muestras de suelo que fueron tomadas en el lecho del cauce del río Orinoco específicamente en los taludes del canal de navegación del sector Barrancas y reportadas en investigaciones previas a la presente (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990). Las muestras fueron tomadas en ejes transversales separados aproximadamente 500 m. En cada eje transversal al canal se tomaron tres (3) muestras: una en el talud derecho descendente, en el centro del canal y en el talud izquierdo descendente. El criterio considerado para definir los ejes transversales de muestreo fue intencional u opinático, debido a la homogeneidad de los materiales del lecho, es decir que existe la misma posibilidad de tomar cualquier porción durante la extracción de las mismas.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, (1992): “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información”. En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente estudio ubicado en un contexto de investigación descriptiva, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

4.4.1 Observación directa.

Tamayo y Tamayo, (2004), define observación directa como: “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a la

topografía, vegetación, condiciones de las riberas, islas e infraestructuras civiles presentes en el sector. Cabe destacar que esta técnica es una de las que consolida la estrategia de la investigación de campo.

4.4.2 Revisión literaria

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo y Tamayo, (2004): “la revisión Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

4.4.3 Entrevistas no estructuradas

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio. Tal como lo expresa Sabino, (1992): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

Éstas serán realizadas a habitantes del sector en estudio, a profesionales calificados, específicamente ingenieros civiles, ingenieros geólogos y cualquier otra persona que pueda brindar algún tipo de asesoría en cuanto a la naturaleza de los materiales del lecho del área de estudio.

4.5 Flujograma de la investigación

Para la realización de esta investigación se seguirá el flujograma (Figura 4.1) que implica las actividades a realizar necesarias para el logro de los objetivos específicos planteados.

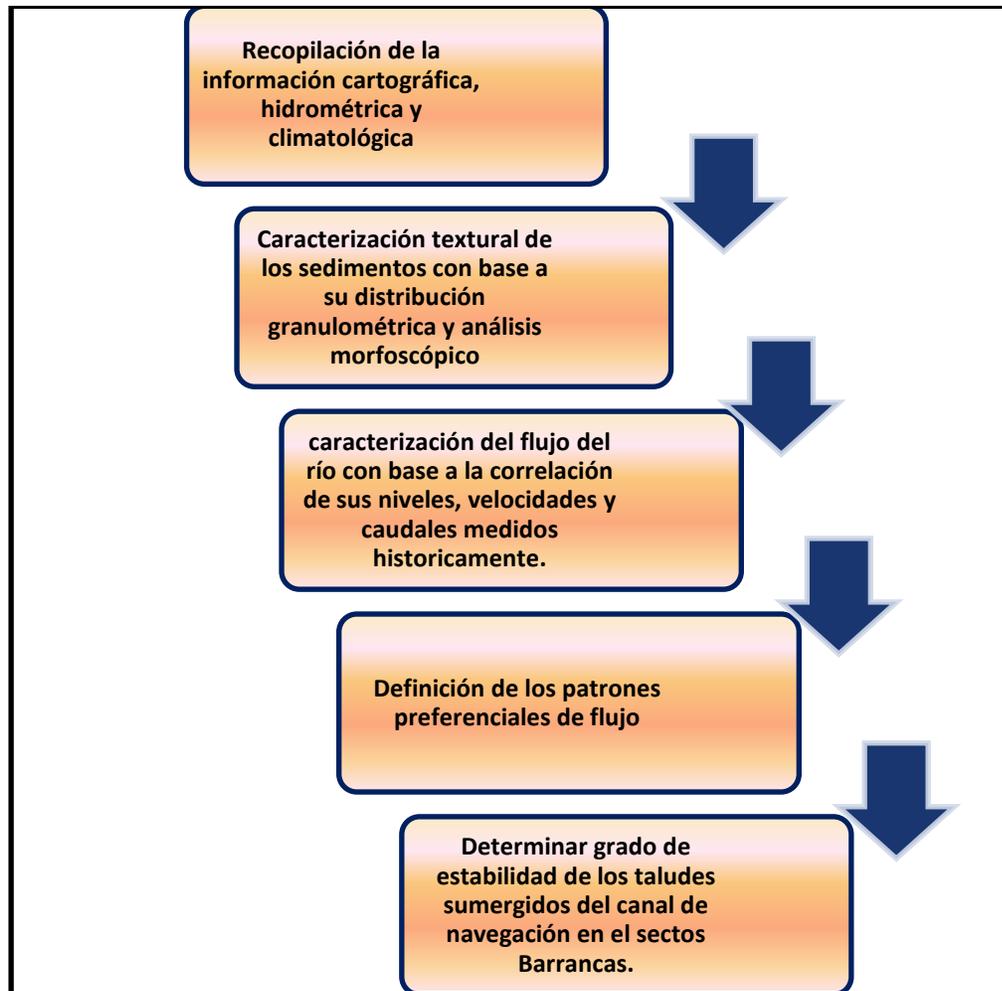


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados se procederá a continuación a dar una explicación breve de las actividades que habrán de cumplirse a tal fin:

4.6.1 Caracterización textural de los materiales del cauce presentes en el área de estudio del río Orinoco

Se utilizarán los resultados de los muestreos realizados en investigaciones previas a la presente.

A las nueve (9) muestras de sedimentos del lecho del cauce, se les realizó análisis granulométrico y a un tercio de ellas se les realizó análisis de forma de las partículas.

4.6.2 Variación de niveles del río Orinoco en el sector Barrancas

Considerando los niveles del río en el limnógrafo de Palúa en el sector San Félix, es posible realizar una proyección de esos niveles hasta el sector Barrancas, considerando las pendientes hidráulicas del río Orinoco en ese tramo (San Félix – Barrancas) contenidas en el ábaco de pendientes construido por el Instituto Nacional de Canalizaciones el cual fue revisado, actualizado y automatizado para la emisión de boletines y calados por Echeverría (1986).

4.6.3 Descripción de las condiciones del flujo del río con base a los niveles de la superficie del agua y a las características de la corriente (velocidad y caudal)

Para la caracterización hidrológica de las áreas de estudio se realizaron los hidrogramas de niveles máximos y mínimos de cada área de descarga, se utilizaron los niveles promedios mensuales máximos y mínimos de Palúa durante los períodos 1943-2002, estas lecturas fueron introducidas a la aplicación computarizada implementada en EXCEL para obtener el nivel promedio mensual en el sector Barrancas calculado en base a la proyección espacial determinada a través de las

pendientes del río (algoritmo de la aplicación en EXCEL) y los niveles de la estación Palúa.

Con los datos de velocidades, caudales y los niveles del río recopilados en los informes de aforos efectuados por el INC, se elaboraron gráficos donde se muestra las correlaciones existente entre estos tres parámetros hidráulicos del flujo del río.

4.6.4 Patrones preferenciales del flujo del fluido en dos fases

Mediante el programa SMS se realizó el modelamiento de los flujos de agua y sedimentos con la finalidad de analizar las relaciones entre los patrones de flujo y el alineamiento del canal y su incidencia en la estabilidad de los taludes sumergidos.

4.6.5 Grado de estabilidad de los taludes sumergidos

Con la finalidad de determinar el grado de estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas, se aplicó el método de la fuerza tractiva propuesto por Chow (1994).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Variación temporal de los niveles del agua

Con base a los niveles del río medidos en la estación Palúa (suministrados por el I.N.C) y al programa PENRO (programa de Proyección Espacial de Niveles del río Orinoco) el cual automatiza el gráfico de pendientes longitudinales de la superficie del agua para todo el río en el tramo Curiapo – Punta Cuchillo (Apéndice B.2), se logró proyectar o estimar los niveles del río en el sector Barrancas específicamente en donde se encuentra ubicada la sección de aforo Chivera Norte.

El río Orinoco experimenta significativas variaciones anuales en los niveles del agua debido al ciclo hidrológico presente en la cuenca del mismo y en condiciones generales en el territorio venezolano, su ascenso paulatino se inicia a fines del mes de Marzo o comienzos del mes de Abril, alcanzando sus máximos niveles en los meses de Agosto y Septiembre.

De acuerdo a los niveles promedios, máximos y mínimos registrados desde 1943-2009 en la estación limnigráfica de Palúa (Figura 5.1), para la cual se elaboraron hidrogramas de los niveles del río, los cuales presentaron una distribución unimodal, preservándose los picos máximos entre los meses de Julio y Septiembre. (Figura 5.2).

Podemos acotar que el nivel máximo en el sector Barrancas en el año evaluado oscila entre 0.95 m y 9.50 m (Figura 5.2).

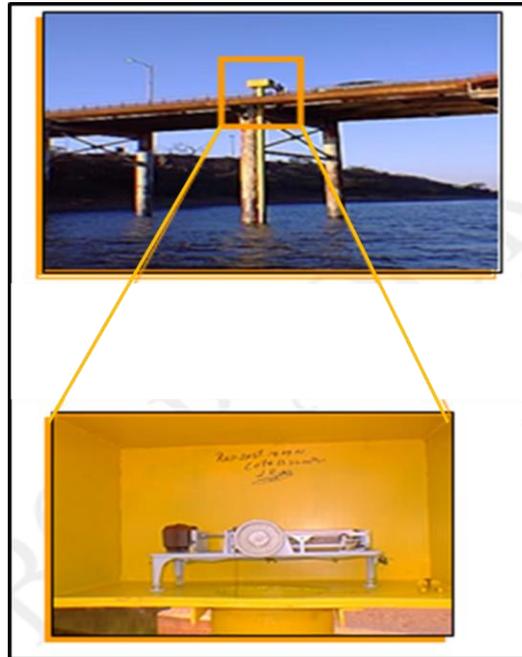


Figura 5.1 Estación limnigráfica de Palúa en el sector San Félix (Echeverría, Jiménez y Malpica, 1989).

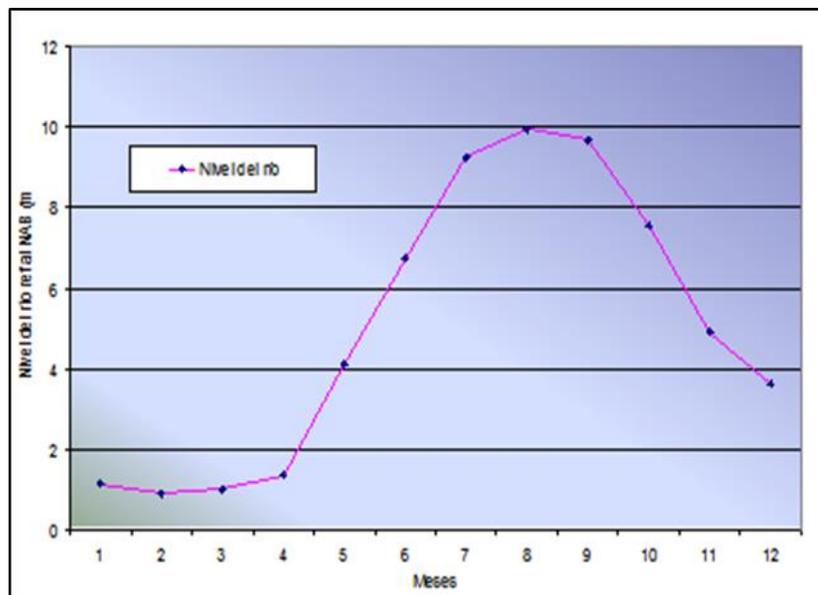


Figura 5.2 Hidrograma de los niveles promedios mensuales (metros referidos al Datum NAB) del sector Barrancas año 1998.

5.2 Correlación de los parámetros hidráulicos de la corriente

Con base a los datos de las campañas de aforo efectuadas por el INC se procedió a correlacionar los niveles del río, velocidades y caudales para realizar estimación de cualquiera de estas variables con solo conocer una de ellas.

Para el sector Barrancas se tomaron los datos de aforo en la sección Chivera Norte (tabla 5.1) ubicado en la progresiva fluvial. Esta correlación se muestra en las figuras 5.3 y 5.4

Tabla 5.1 Datos de aforos de la sección Chivera Norte (INC, 2010).

Sector Barrancas - Sección Chivera Norte			
Fecha del aforo	Qt (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Niveles del río (m ref. al NAB)
11/07/89	18.714	7,95	5,9
12/09/89	17.033,44	8,63	6,4
12/11/89	14.599,06	6,98	4,65
4/04/90	4.784,95	1,97	1,1
16/04/95	2.500,41	1,47	0,85
10/09/95	12.721	10,09	7,48
6/04/96	4.442	1,74	0,90
3/09/96	6.160	11,48	8,9
2/04/97	3.493	1,77	1

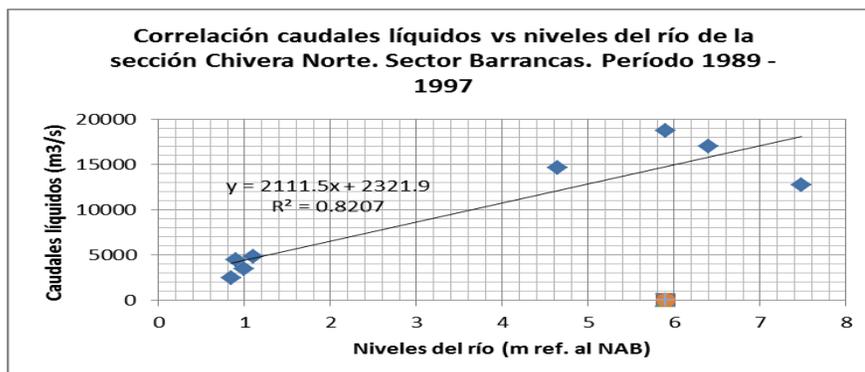


Figura 5.3 Correlación de los niveles y caudales líquidos y velocidades registradas en la sección de aforo Chivera Norte del sector Barrancas del río Orinoco.

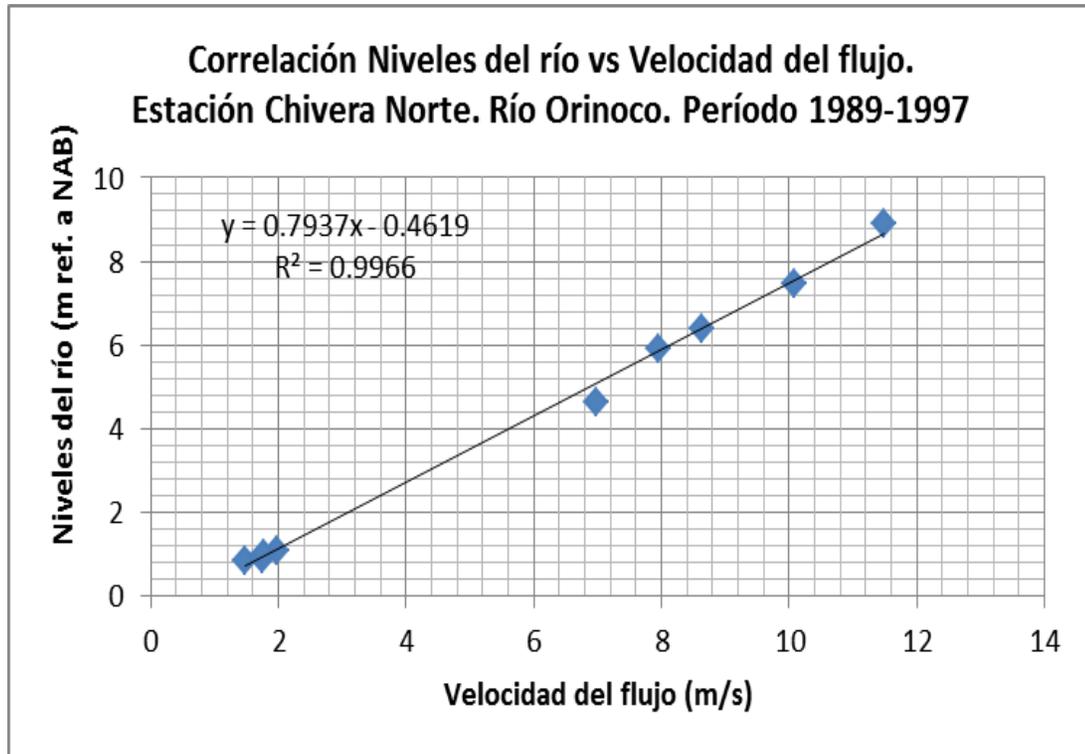


Figura 5.4 Correlación de los niveles velocidades registradas en la sección de aforo Chivera Norte del sector Barrancas del río Orinoco.

5.3 Descripción textural de los sedimentos del lecho del cauce

De acuerdo a los datos de las características texturales de los sedimentos del lecho en el sector Barranca analizados por Bejarano y Echeverría (1990), el sector presenta una caracterización de los materiales del lecho similar a los sedimentos del lecho del sector inmediato aguas arriba (sector Guarguapo) y a los materiales del lecho del sector inmediato aguas abajo (sector Yaya); tal afirmación obedece a que dichos sectores se encuentran contiguos y a muy poca distancia (0.5 millas náuticas).

En el apéndice A se presentan los datos para la construcción de las curvas granulométricas que se presentan en las figura 5.6 a 5.8 correspondientes al material del lecho del cauce del sector Barrancas.

En la figura 5.5 se presenta la ubicación de los nueve (9) puntos de muestreo de sedimentos efectuados en el sector Barrancas por Bejarano y Echeverría (1990).

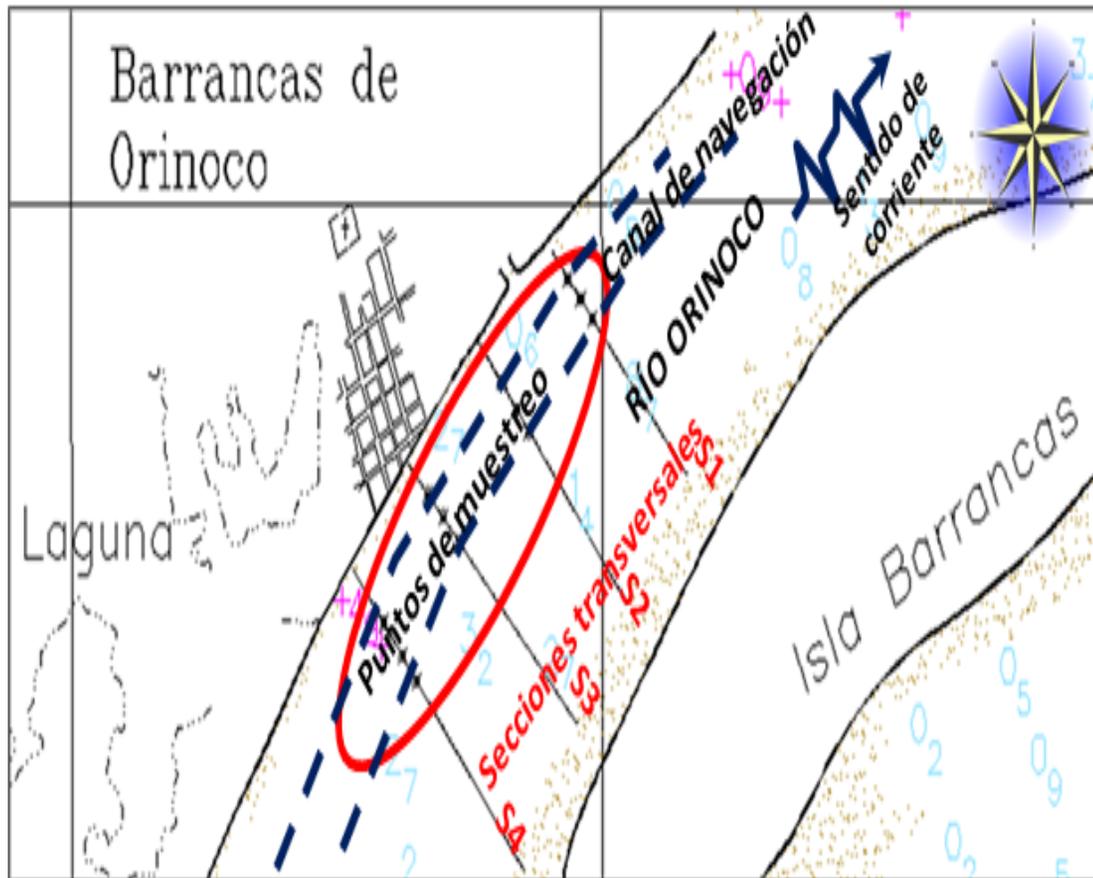


Figura 5.5 Sector Barrancas indicando puntos de muestreo.

5.3.1 Clasificación granulométrica de los materiales del lecho

El resultado arrojado por el ensayo granulométrico para las nueve (9) muestras tomadas en los sectores en estudio indica que estamos en presencia de un suelo pobremente gradado SP según el Sistema de Clasificación Unificada de suelos. Arenas con porcentaje menor al 5% de material pasante por el tamiz 200 y variaciones de $C_u=1.30$ a 1.53 y $C_c=1.04$ a 1.16 respectivamente, valores que los identifican como tal (Figuras 5.6, 5.7 y 5.8 y Apéndice B).

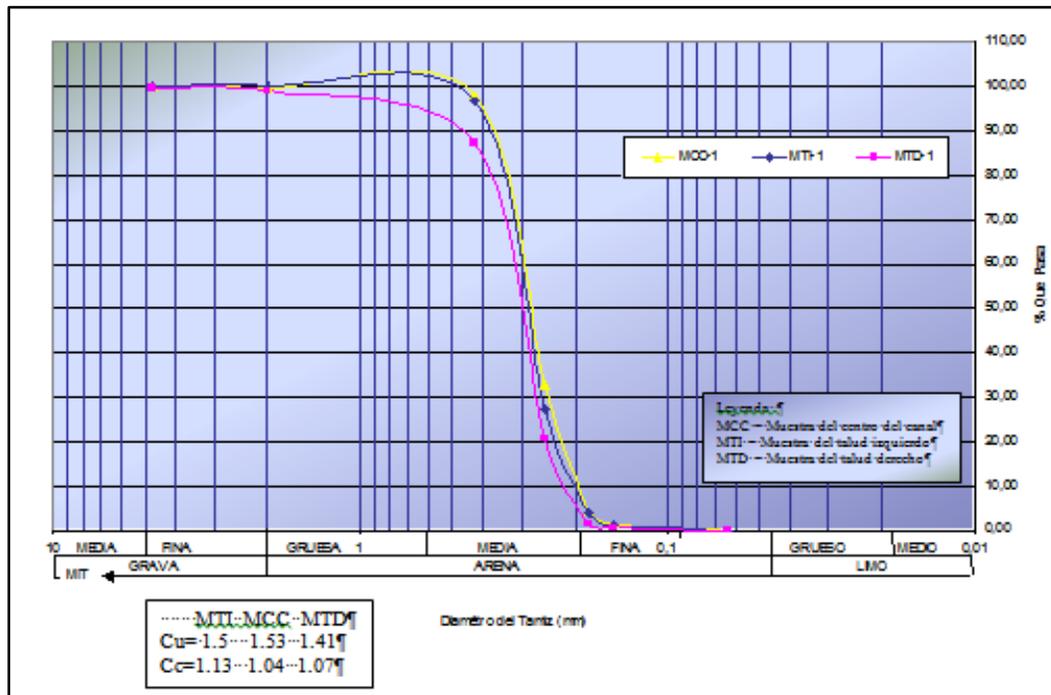


Figura 5.6 Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos CC1, TD1 y TI1 tomadas en la sección 1 del sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).

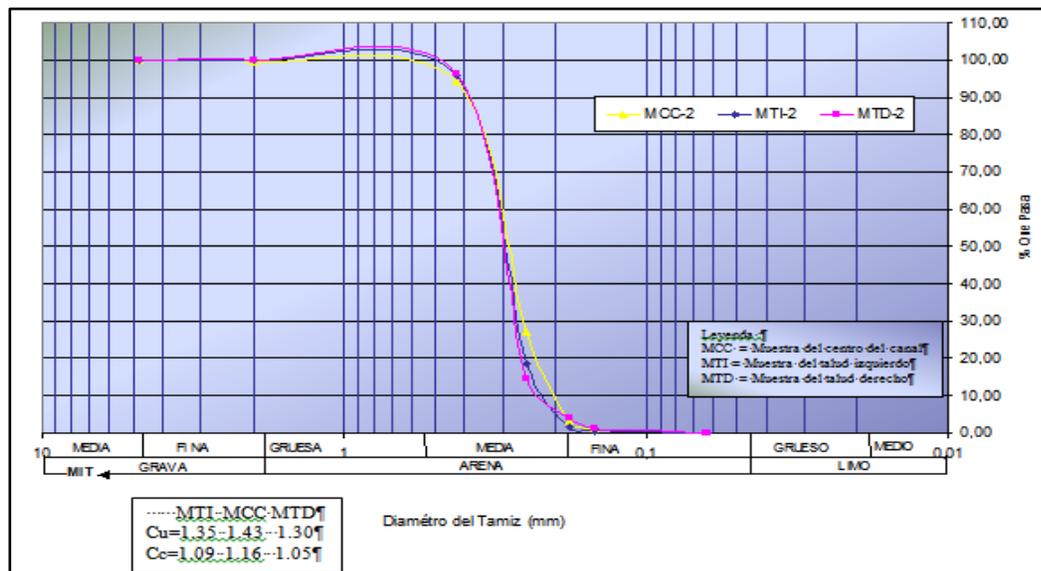


Figura 5.7 Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos CC2, TD2 y TI2 tomadas en la sección 2 del sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).

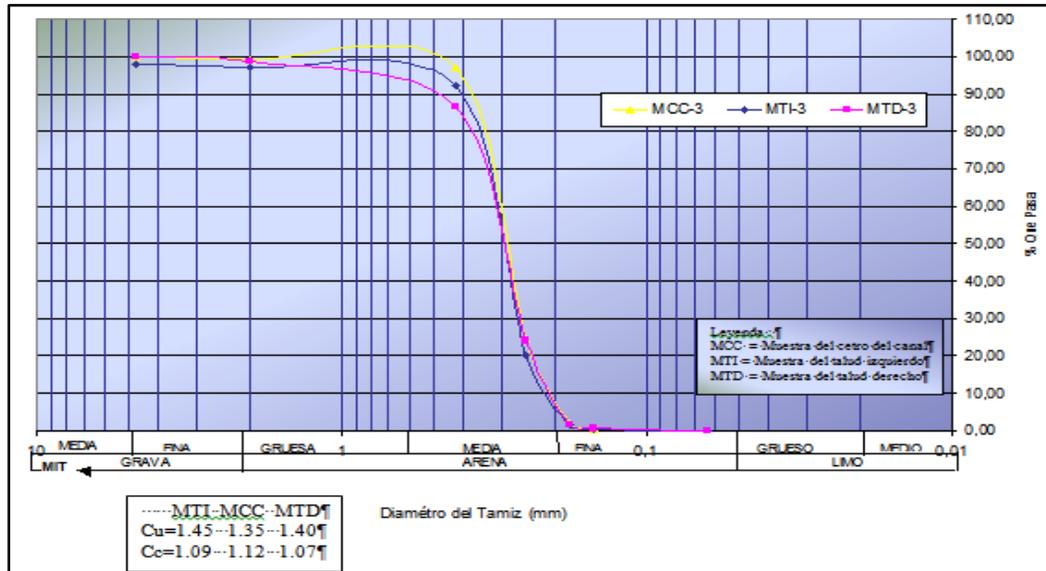


Figura 5.8 Curvas granulométricas de las tres muestras de sedimentos CC3, TD3 y TI3 tomadas en la sección 3 del sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).

5.3.2 Forma de las partículas del lecho

En cuanto al análisis de forma de las muestras extraídas del lecho del cauce del río Orinoco en el sector Barrancas; se podría decir que éstas arrojaron resultados similares con respecto a las formas de las partículas que lo constituyen, las cuales se presentan en forma predominante desde subangular a angular (Figura 5.9), lo que permite inferir que las partículas han sufrido transporte pobre.

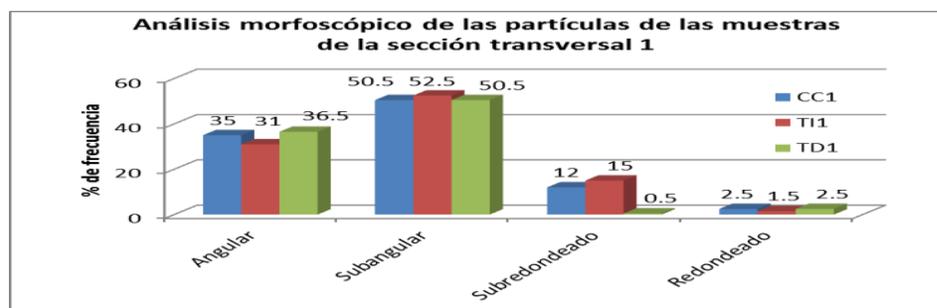


Figura 5.9 Análisis de forma correspondiente a las muestras de la sección transversal 1. Sector Barrancas (Bejarano y Echeverría. 1990).

5.4 Inclinación de los taludes laterales del canal de navegación

5.4.1 Pendiente hidráulica en el sector Barrancas

Para determinar la pendiente hidráulica se utilizó la misma ecuación utilizada para determinar la pendiente matemática de una línea, apoyándose en el uso del ábaco de pendientes suministrado por el I.N.C. De acuerdo a los niveles del río presentados entre los límites del sector Barrancas para la fecha en estudio (julio de 1998), se observa que el desnivel ($h_2 - h_1$) es de 5.24 m, con una distancia horizontal (L_1) de 875 m, el cual arrojó como resultado una pendiente de 0.00012, en la figura 5.6 se observa la pendiente del lecho y la pendiente hidráulica del sector en estudio.

Se calculará mediante la ecuación:

$$S_1 = \frac{\Delta h}{L_1} \quad (5.1)$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (5.2)$$

Donde:

L_1 = distancia longitudinal = 875 m

h_1 = nivel del río aguas arriba = 7.85 m

h_2 = nivel del río aguas abajo = 2.61 m

$$S_1 = \frac{7.85 \text{ m} - 2.61 \text{ m}}{4366 \text{ m}} = 0,0012$$

Se construyeron cuatro (4) secciones transversales al cauce ubicada frente a la población de Barrancas del Orinoco con la finalidad de observar las variaciones de inclinación de los taludes sumergidos del canal. Se pueden observar taludes entre 5 y 7.5% (3 a 4°) de inclinación en el lado norte de canal de navegación y de 1.6 a 3.5%

(1 a 2.5°) de inclinación en el talud del lado sur del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas. Cabe destacar que los taludes del canal de navegación de todo el sector Barrancas presentan, para el momento de ejecución del levantamiento batimétrico, el mismo comportamiento en cuanto a inclinación de los taludes se refiere.

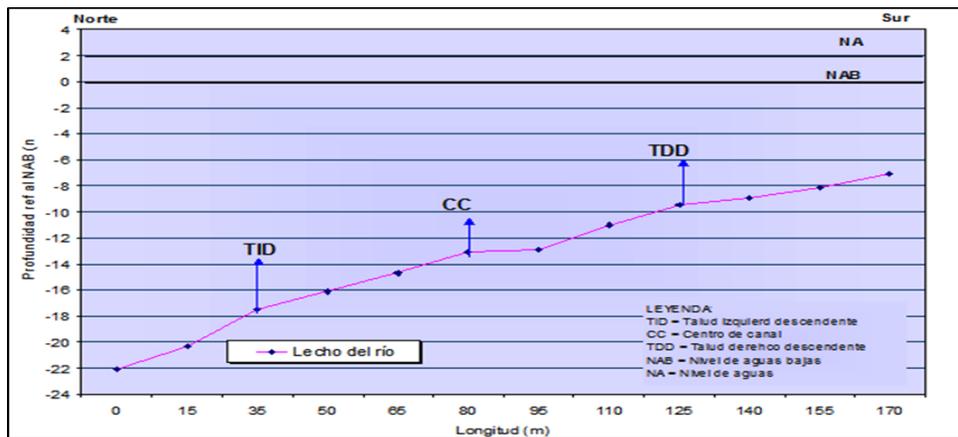


Figura 5.7 Sección transversal frente a, Barrancas del Orinoco, edo. Monagas.

5.5 Estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación

Para la determinación de la estabilidad de los taludes sumergidos del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas, mediante la aplicación del método de la fuerza tractiva se utilizará la siguiente nomenclatura.

S = Pendiente longitudinal (adimensional)

R = Radio hidráulico (m)

∇ = Velocidad media (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

b = Ancho de la base del canal (m)

y = Profundidad (m)

z = Pendiente lateral (adimensional)

τ_o = Fuerza tractiva máxima unitaria en los taludes (lb/pie²)

τ_s = Fuerza tractiva unitaria en los taludes del canal (lb/pie²)

τ_i = Fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal (lb/pie²)

K = Relación de fuerza tractiva (adimensional)

W = Peso sumergido de la partícula (lb)

a = Área efectiva de la partícula pie²

ϕ = Angulo de la pendiente lateral (°)

θ = Ángulo de reposo de la partícula (°)

r = Radio (cm)

D = Densidad (gr/cm³)

ϕ = Diámetro (cm)

v = Volumen (cm³)

TID= Talud izquierdo descendente

TDD= Talud derecho descendente

γ_w = Peso específico del agua

5.5.1 Cálculo del área efectiva, volumen y peso de las partículas

1. A partir de los datos obtenidos en el ensayo granulométrico y considerando la densidad relativa reportada por Marín, L. (2002), se calculará el área efectiva, volumen y peso de la partícula.

Datos:

D = 0.41 gr/cm³

r = 0.02125 cm

ϕ = 0.0425 cm

- a. Se procede a calcular el área efectiva de la partícula

Tenemos que:

$$a = \pi r^2 \quad (5.1)$$

$$a = \pi (0.02125 \text{ cm})^2$$

$$a = 1.42 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$a = 1.52 \times 10^{-6} \text{ pie}^2$$

- b. Se procede a calcular el volumen de la partícula, asumiendo el volumen de una esfera.

Tenemos que:

$$v = \frac{1}{4} \pi r^3 \quad (5.2)$$

$$v = \frac{1}{4} \pi (0.0212 \text{ cm})^3$$

$$v = 7.54 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

- c. Se procede a calcular el peso de la partícula

Tenemos que:

$$D = \frac{W}{v} \quad (5.3)$$

Dónde:

$$W = D \times v \quad (5.4)$$

$$W = 0.41 \text{ gr/cm}^3 \times 7.54 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

$$W = 3.09 \times 10^{-6} \text{ gr}$$

$$W = 6.81 \times 10^{-8} \text{ lb}$$

5.5.2 Ejemplo de cálculo del método de fuerza tractiva

Datos:

Ubicación: Talud derecho de sección transversal 1

$$b = 90 \text{ m}$$

$$y = 13.5 \text{ m} = 44.29 \text{ pie}$$

$$V = 1.26 \text{ m/s}$$

$$Z = 15$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$\phi = 3.05^\circ$$

$$n = 0.020$$

$$\gamma_w = 62.4 \text{ (lb/pie}^3\text{)}$$

a. Se calcula el radio hidráulico (R) de la sección

Tenemos que:

$$R = \frac{(b + zy) y}{b + 2y \sqrt{1 + z^2}} \quad (5.5)$$

$$R = \frac{[90m + 2(13.5m) + 13.5m]}{90m + 2(13.5m) \sqrt{1 + (15)^2}}$$

$$R = 7.96 \text{ m}$$

$$R = 26.13 \text{ pie}$$

b. Se calcula la pendiente longitudinal de los lados del canal haciendo uso de la ecuación de Manning

Tenemos que:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5.6)$$

Dónde:

$$S = \left(\frac{V \times n}{1.49 \times R^{2/3}} \right)^2 \quad (5.7)$$

$$S = \left(\frac{1.26 \text{ m/s} \times 0.020}{1.49 \times \sqrt[3]{(7.96 \text{ m})^2}} \right)^2$$

$$S = 0.000012$$

- c. Se calcula la fuerza tractiva unitaria en el talud

Tenemos que:

$$\tau_s = \frac{W}{a} \cos\phi \tan\theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (5.8)$$

$$\tau_s = \frac{6.81 \times 10^{-8} \text{ lb}}{1.52 \times 10^{-6} \text{ pie}^2} \cos 3.05 \tan 30^\circ \sqrt{1 - \frac{\tan^2 3.05}{\tan^2 30^\circ}}$$

$$\tau_s = 0.033 \text{ lb/pie}^2$$

- d. Se calcula la fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal

Tenemos que:

$$\tau_l = \frac{W}{a} \tan\theta \quad (5.9)$$

$$\tau_l = \frac{6.81 \times 10^{-8} \text{ lb}}{1.52 \times 10^{-6} \text{ pie}^2} \tan 30^\circ$$

$$\tau_l = 0.026 \text{ lb/pie}^2$$

- e. Una vez calculada la fuerza tractiva en los lados del canal, así como también en el fondo se procede a calcular la relación existente entre ambas fuerzas.

$$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \phi}{\text{sen}^2 \theta}} \quad (5.10)$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 3.05}{\text{sen}^2 30^\circ}}$$

$$K = 0.99$$

- f. Cálculo de la fuerza tractiva máxima unitaria en términos de γ_w . y . S

Sabiendo que:

$$\tau_L = \gamma_w y S \quad (5.11)$$

Sustituimos el valor de peso específico unitario del agua, profundidad y pendiente longitudinal del canal.

$$\tau_L = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} \times 44.29 \text{ pie} \times 0.00012$$

$$\tau_L = 0.033 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2}$$

- g. Se calcula la fuerza tractiva unitaria en términos de $\gamma_w y S$ en los taludes del canal

Dónde:

$$\tau_s = K\gamma_w y S \cos\phi \quad (5.12)$$

$$\tau_s = 0.99 \times 0.026 \frac{lb}{pie^2} \times \cos 3.05^\circ$$

$$\tau_s = 0.033 \frac{lb}{pie^2}$$

Es importante resaltar que los valores de la fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal son iguales a la fuerza tractiva unitaria máxima, es decir:

$$\tau_l = \tau_s \quad (5.13)$$

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los cálculos anteriores para cada sección del canal donde se puede observar, que para el momento del levantamiento batimétrico, los taludes sumergidos del canal de navegación en el sector Barrancas se encontraban en posición crítica, es decir K cercano a 1.

Tabla 5.2 Valores de velocidad, rugosidad y elementos geométricos de las secciones del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas

Sección	Talud	R (m)	S	V (m/s)	n	b (m)	y (m)	z
1	TI	7.96	0.000012	1.26	0.020	90	13.5	15
2	TI	6.66	0.000010	1.02	0.020	90	11	15
	TD	7.19	0.000011	1.12	0.020	90	12	15
3	TI	7.44	0.000011	1.16	0.020	90	12.5	15
	TD	6.66	0.000010	1.02	0.020	90	11	15
4	TI	8.11	0.000013	1.29	0.020	90	13.8	15
	TD	7.29	0.000011	1.13	0.020	90	12.2	15

Tabla 5.3 Valores correspondientes de fuerza tractiva máxima unitaria en los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas

Sección	Talud	W (lb)	A (pie ²)	ϕ (°)	θ (°)	γ_w (lb/pie ³)	τ_s (lb/pie ²)
1	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	3.05	30	62.4	0.033
2	TI	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	0.76	30	62.4	0.027
	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	8.59	32	62.4	0.029
3	TI	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	4.06	30	62.4	0.030
	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	3.66	32	62.4	0.027
4	TI	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	0.25	30	62.4	0.034
	TD	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	3.81	32	62.4	0.029

Tabla 5.4 Valores de fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de γ_w y S presentes en el canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas

Sección	Talud	$\tau_s = K \gamma_w \text{ y } S \cos\phi$ (lb/pie ²)	$\tau_i = \gamma_w \text{ y } S$ (lb/pie ²)	K
1	TD	0.033	0.033	0.99
2	TI	0.027	0.027	0.99
	TD	0.026	0.029	0.91
3	TI	0.029	0.030	0.97
	TD	0.027	0.027	0.99
4	TI	0.036	0.036	1
	TD	0.028	0.029	0.97

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En el hidrograma de niveles del sector Barrancas se observan oscilaciones de la altura del río entre 9.50 m en aguas altas y 0.98 en estiaje. Comportamiento en su mayoría regular que se corresponde con el ciclo de lluvias y sequías que impera en el país.
2. El comportamiento hidrológico del río Orinoco ha manifestado un rendimiento líquido presentando, en el sector Barrancas un caudal que varía entre 2500 m³/s hasta 17033 m³/s presentando velocidades de corriente entre 1.97 y 11.48 m/s durante el período de aguas altas.
El sector Barrancas presenta una pendiente hidráulica promedio de $3.77 \cdot 10^{-5}$, y una pendiente de lecho promedio de $5.54 \cdot 10^{-4}$.
3. Según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos, los suelos muestreados en el sector Barrancas y posteriormente analizados en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Oriente resultaron ser arena mal gradada (SP). Por otra parte, las formas predominantes en relación con la geometría de los granos son subangular y angular.
4. De acuerdo a las secciones transversales evaluadas del sector Barrancas se pudo observar que el ángulo de inclinación de los taludes izquierdo y derecho descendentes del canal de navegación se corresponden a ángulos muy bajos entre 0.5 y 4.5° los cuales aún siendo de baja magnitud se encuentran en condiciones críticas considerando la magnitud de las velocidades de corriente, la pendiente longitudinal del canal y la naturaleza de los sedimentos.

5. La aplicación del método de la fuerza tractiva a los taludes del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas evaluado en las cuatro (4) secciones transversales evaluadas indicó, que para el momento de efectuado el levantamiento batimétrico (julio 1998) los taludes en cuestión se encuentran en condición de estabilidad crítica (K cercano a 1).

Recomendaciones

1. Analizar la estabilidad de los taludes sumergidas en las condiciones críticas o extremas del entorno hidráulico del canal, es decir, para caudales extremos, para niveles extremos y para velocidades extremas registradas en el sector Barrancas.
2. Validar el uso de otros modelos empíricos existentes para la estimación del modelamiento del grado de estabilidad de los taludes sumergidas.
3. Efectuar estudios correlacionales entre los niveles del río y los patrones del flujo de sedimentos que se producen en el sector Barrancas.

REFERENCIAS

Allen, J. (1987). **SEDIMENTARY STRUCTURES, THEIR CHARACTER AND PHYSICAL BASIC DEVELOPMENTS IN SIDIMENTOLOGY**. Amsterdam Elsevier Vol. 1. pp 663.

Arias, F. (1996). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. (6° Edición). Episteme, Caracas, pp 17.25.

Arness, Echeverria y Guerrero (2016), **ESTUDIO SOBRE LA EROSIÓN Y SOCAVACIÓN EN LAS FUNDACIONES DEL MALECÓN DE LA POBLACIÓN BARRANCAS DEL ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**. Universidad de Oriente. Núcleo Bolívar. Ciudad Bolívar.

Balestrini A., M. (2002). **COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Consultores Asociados, Caracas, Venezuela. pp 74.

Bejarano, M. y Echeverría, D. (1990). **ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR BARRANCAS EN EL RÍO ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz.

Bowles, Joseph (1981). **MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS E INGENIERÍA CIVIL**. Series McGraw Hill, Latinoamericana. pp 35-40,175-180.

Chang, F. (1988). **TOTAL BED MATERIAL DISCHARGE IN ALLUVIAL CHANNELS**. U.S. Geological Survey. New York.

Consultora Ingeniería Caura., (1994). **ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DRAGADO DEL RÍO ORINOCO**. Tramo Matanzas-Boca Grande, Caracas pp. 16,21-23.

Corrales, J. (1977). **ESTRATIGRAFIA**. Editorial Ruedo. Madrid – España. Pp 717.

C.V.G., (1977). **ESTUDIO GEOTECNOLÓGICO DE CIUDAD GUAYANA Y ALREDEDORES**. Geovenex. Tomo I, pp 17, 33-34.

C.V.G. Edelca, C.A. (2012). **INFORME DE RECOPIACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ**. Ciudad Guayana.

C.V.G Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC 20 – 15, CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS Y VEGETACIÓN TOMO I, II, III**. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 185-203, 441-444, 453-461

CVG Técnica Minera, C.A. (2002). **INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DEL ESTADO BOLIVAR**. Puerto Ordaz.

Echeverría, D., Jiménez, L. y Malpica, F. (1998). **EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS ÁREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN EL CANAL INTERIOR DEL RÍO ORINOCO, UBICADA EN LOS SECTORES ARAMAYA, GUARGUAPO, YA-YA Y GUASINA. ESTADOS MONAGAS Y DELTA AMACURO. VENEZUELA**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Puerto Ordaz. Pp 222.

Echeverría, D y Medina, R. (1992). **“ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL CANAL DE NAVEGACIÓN EN EL SECTOR LOS CASTILLOS DEL RIO ORINOCO”**. Instituto Nacional de Canalizaciones,. Puerto Ordaz.

Fuerza Aérea de **Venezuela**. F.A.V. (2012). **INFORMES DE AVANCES METEOROLÓGICOS DE CIUDAD BOLÍVAR**. Ciudad Bolívar.

Friedman y Sanders (1972). **SHOALING AND TIDAL DEPOSITS THAT ACCUMULATED MARGINAL TO THE PROTO-ATLANTIC OCEAN**. Boston.

García, A. (2017) **EQUIPOS DE DRAGADO DEL MUNDO**. Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas.

García, M y Maza J. (1998). **ORIGEN Y PROPIEDADES DE LOS SEDIMENTOS. CAPÍTULO 6 DEL MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS**. México. Pp 258.

García, M. y Maza, J. (1998). **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. CAPÍTULO 7 DEL MANUAL DE INGENIERÍA DE RÍOS**. México. pp 111.

González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Edición Foninves. Caracas. pp 70.

Griem, W. (1999). **LAS DUNAS DE ATACAMA**. Santiago de Chile.

Guzman, J. (1992). **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Hjulstrum, F. (1935). **LA ACTIVIDAD MORFOLÓGICA DE LOS RÍOS ILUSTRADO POR RIVER FYRIS**. Boletín del Instituto Geológico, Uppsala, vol. 25, cap. 3.

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. (1998). **SISTEMA FLUVIAL ORINOCO – APURE. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**. Caracas. pp 35-42.

Instituto de Mecánica de Fluidos, U.C.V. (1999). **CONFORMACIÓN FÍSICA DE LAS ÁREAS DE BOTE**. Caracas. Capítulo III. pp 1-4.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1997). **EL RÍO ORINOCO Y EL CANAL DE NAVEGACIÓN**. Puerto Ordaz.

Instituto Nacional de Canalizaciones (1994). **ANUARIO DE NIVELES DEL RÍO ORINOCO**. Puerto Ordaz.

Jiménez, L. y Malpica, F. (2003). **EVALUACIÓN DE LAS AREAS DE DESCARGA PARA DRAGAS DE TOLVA EN LOS SECTORES, GUARGUAPO, YAYA Y GUASINA DEL CANAL DE NAVEGACIÓN DEL RÍO ORINOCO**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Landaeta, C. (2001) **DRAGADO DE LOS CANALES DE VENEZUELA** Instituto Nacional de Canalizaciones. Caracas.

Leeder, M. (1982). **SEDIMENTOLOGY.PROCESS AND PRODUCT**. London George Allen and Unwin. Boston Sydney. pp 60-620.

Malpica C. Rojas D. (2015). **ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS Y SEDIMENTOLÓGICOS DE LA ISLA LA BURRA, UBICADA EN EL RIO ORINOCO, ENTRE LOS MUNICIPIOS CEDEÑO, ESTADO BOLIVAR Y LAS MERCEDES, ESTADO GUARICO, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

Marín, L. (2002). **ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DEL SECTOR ARAMAYA DEL RÍO ORINOCO.** Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

McCandless, G. C. (1965). **RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA PARTE OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR.** Boletín de Geología Vol. 7 (13). Pp 19-28.

Mendez, R. (2006). **SEDIMENTOS COHESIVOS Y NO COHESIVOS.** Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Mendoza, V.(2000). **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAERICANO.** Ciudad Bolívar. Pp 25 – 37.

Meneses, S. (1980) **MANUAL DE MEDICIONES HIDROMÉTRICAS E HIDRODINÁMICAS.** Ediciones de la Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Miall, A. (1981). **ANALYSIS OF FLUVIAL DEPOSITION AL SYSTEMS.** Am. Ass. Petrol. Geol. Conference. (Inédite),pp 68.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1971) “**LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**”. Editorial Sucre. Caracas. Venezuela.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1999). **LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA**. Boletín Geología. Tercera Edición. Editorial Sucre, Caracas, Venezuela. Pp 414-415.

Palella S., S. y Martins P., F. (2012). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA**. FEDUPEL, 3era edición. Caracas, pp10, 33.

Pettijhon, F. (1949). **SEDIMENTARY ROCKS**. Editorial Harper y Brothers. New York.

Pettijohn, J. (1980). **ROCAS SEDIMENTARIAS**. Editorial Universitaria, Buenos Aires. pp. 16-38.

Power, H, García Reinaldo y Saavedra Iván., (1998). **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. pp 330-331.

Power, Henry., García Martínez, Reinaldo y Saavedra, Iván., (1989). **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPOSICIÓN DE MATERIAL DRAGADO EN EL RÍO ORINOCO**. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. pp 330-331.

Pravia, J. (1997). **APUNTES DE MECÁNICA DE SEDIMENTACIÓN**. Escuela de Ciencias de la Tierra, Núcleo Bolívar, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Rodríguez, J. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LA PARTE ESTE DE LA ISLA FAJARDO MUNICIPIO CARONÍ, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de Grado no Publicado de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar.

Sabino C. (1992). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Panapo. Caracas. 134-145

Shields, A. (1936). **APPLICATION OF SIMILARITY PRINCIPLES, AND TURBULENCE RESEARCH TO BED-LOAD MOVEMENT**. California of Institute of Technology. Pasadena.

Silva, G. (2003). **EROSIÓN FLUVIAL Y TRANSPORTE SEDIMENTOS EN RÍOS**. Trabajo de grado. Colombia. Pp 158.

Silva E y Alcalá H. (2005). **CARACTERIZACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO DE LAS ISLAS OROCOPICHE, EL DEGREDADO Y PANADERO UBICADAS EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS OROCOPICHE Y MARHUANTA, RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

Spaletti Luis A. (2007). **TEXTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS** (10 de mayo 2012). Facultad de Ciencias y Museo UNLP.<http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/textura.pdf>.

Tamayo y Tamayo, M. (2004). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. 4ta edición, Editorial Limusa. México, pp 64-82.

Torres, Mayra. (1999). **ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DEL CONJUNTO DE ISLAS BERNABELA E ISLOTE DEL RÍO ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Estado Bolívar.

United State Army Corps of Engineers (2017) **MANUAL DEL PROGRAMA HECRAS**. Vicksburg.

Van Rijn, Leo., (1990). **PRINCIPLES OF SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER, ESTUARIES AND COASTAL SEAS**. University of Utrecht. Department of Physical Geography. pp 4.1-4.33.

Visher, G. (1969). **GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS AND DEPOSITIONAL PROCESSES YOUR**. Sed. Petro. Boll. 39, Number 3. pp 1074-1106.

Vivenes, A. (2012). **DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSPORTE DE LOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN LA ISLA EL MAMO, ESTADO ANZOATEGUI, RÍO ORINOCO, VENEZUELA**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Venezuela.

APÉNDICES

APÉNDICE A
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

A.1 Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 03 sector Barrancas, (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990).

MUESTRA	TAMIZ N°	DIAMETRO DE TAMIZ (mm)	PESO DE TAMIZ (gr)	TAMIZ+SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA
CC-3	4	4.75	747.2	748.4	1.2	0.24	0.24	99.76
	10	2	643.2	646.1	2.9	0.58	0.82	99.18
	40	0.425	566.2	576.6	10.4	2.08	2.90	97.10
	60	0.25	512	873.7	361.7	72.41	75.32	24.68
	80	0.18	515	628.1	113.1	22.64	97.96	2.04
	100	0.149	395.6	402.7	7.1	1.42	99.38	0.62
	230	0.063	482.3	485.2	2.9	0.58	99.96	0.04
	PAN	0	483.6	483.8	0.2	0.04	100.00	0.00
				499.5	100.00			
TI-3	4	4.75	747.2	757.4	10.2	2.04	2.04	97.96
	10	2	643.2	648.2	5	1.00	3.04	96.96
	40	0.425	566	590.1	24.1	4.83	7.87	92.13
	60	0.25	511.9	871.2	359.3	71.95	79.82	20.18
	80	0.18	515.4	609.4	94	18.82	98.64	1.36
	100	0.149	395.8	400.7	4.9	0.98	99.62	0.38
	230	0.063	482.3	484.1	1.8	0.36	99.98	0.02
	PAN	0	483.7	483.8	0.1	0.02	100.00	0.00
				499.4	100.00			
TD-3	4	4.75	747.2	747.9	0.7	0.18	0.18	99.82
	10	2	643.4	648.1	4.7	1.18	1.35	98.65
	40	0.425	565.6	614.6	49	12.25	13.60	86.40
	60	0.25	540.6	790.4	249.8	62.47	76.07	23.93
	80	0.18	514.9	604.3	89.4	22.36	98.42	1.58
	100	0.149	395.7	399.9	4.2	1.05	99.47	0.53
	230	0.063	482.2	484.1	1.9	0.48	99.95	0.05
	PAN	0	483.8	484	0.2	0.05	100.00	0.00
				399.9	100.00			

A.2 Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 02 en el sector Barrancas (Bejarano, M. y Echeverría, D. 1990).

MUESTRA	TAMIZ N°	DIAMETRO DE TAMIZ (mm)	PESO DE TAMIZ (gr)	TAMIZ+SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% ACUMCUMULADO.	% QUE PASA
CC-2	4	4.75	747.2	747.4	0.2	0.04	0.04	99.96
	10	2	643.2	645.7	2.5	0.50	0.54	99.46
	40	0.425	565.6	591	25.4	5.08	5.62	94.38
	60	0.25	511.6	848	336.4	67.33	72.96	27.04
	80	0.18	514.9	633.9	119	23.82	96.78	3.22
	100	0.149	395.6	405.7	10.1	2.02	98.80	1.20
	230	0.063	482.3	488.1	5.8	1.16	99.96	0.04
	PAN	0	483.7	483.9	0.2	0.04	100.00	0.00
					499.6	100.00		
TI-2	4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.4	644.7	1.3	0.26	0.26	99.74
	40	0.425	566.1	585.3	19.2	3.84	4.10	95.90
	60	0.25	511.9	897.9	386	77.20	81.30	18.70
	80	0.18	515.2	602.2	87	17.40	98.70	1.30
	100	0.149	395.8	400	4.2	0.84	99.54	0.46
	230	0.063	482.3	484.5	2.2	0.44	99.98	0.02
	PAN	0	483.7	483.8	0.1	0.02	100.00	0.00
					500	100.00		
TD-2	4	4.75	747.3	747.3	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.4	643.5	0.1	0.02	0.02	99.98
	40	0.425	566.3	583.4	17.1	3.42	3.44	96.56
	60	0.25	511.5	921.4	409.9	82.00	85.44	14.56
	80	0.18	515	568.1	53.1	10.62	96.06	3.94
	100	0.149	395.8	410.4	14.6	2.92	98.98	1.02
	230	0.063	482.3	487.2	4.9	0.98	99.96	0.04
	PAN	0	483.7	483.9	0.2	0.04	100.00	0.00
					499.9	100.00		

A.3. Análisis granulométricos a las muestras de la sección N° 01 en el sector Barrancas (Bejarano, M. y Echeverría, D., 1990).

MUESTRA	TAMIZ N°	DIAMETRO DE TAMIZ (mm)	PESO DE TAMIZ (gr)	TAMIZ+SUELO (gr)	SUELO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% ACUMCUMULADO.	% QUE PASA
CC-1	4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.1	643.7	0.6	0.12	0.12	99.88
	40	0.425	565.9	574.2	8.3	1.66	1.78	98.22
	60	0.25	511.5	838.1	326.6	65.32	67.10	32.90
	80	0.18	514.8	658.9	144.1	28.82	95.92	4.08
	100	0.149	395.6	408.8	13.2	2.64	98.56	1.44
	230	0.063	482.2	489.1	6.9	1.38	99.94	0.06
	PAN	0	483.6	483.9	0.3	0.06	100.00	0.00
					500	100.00		
TI-1	4	4.75	747.2	747.2	0	0.00	0.00	100.00
	10	2	643.2	643.4	0.2	0.04	0.04	99.96
	40	0.425	566.1	581.1	15	3.26	3.31	96.69
	60	0.25	511.7	830.7	319	69.42	72.73	27.27
	80	0.18	514.9	622	107.1	23.31	96.04	3.96
	100	0.149	395.6	408.3	12.7	2.76	98.80	1.20
	230	0.063	482.3	487.6	5.3	1.15	99.96	0.04
	PAN	0	483.6	483.8	0.2	0.04	100.00	0.00
					459.5	100.00		
TD-1	4	4.75	747.2	748.5	1.3	0.26	0.26	99.74
	10	2	643.3	647	3.7	0.74	1.00	99.00
	40	0.425	565.9	624.1	58.2	11.65	12.65	87.35
	60	0.25	511.6	844.7	333.1	66.69	79.34	20.66
	80	0.18	514.9	611	96.1	19.24	98.58	1.42
	100	0.149	395.6	400.6	5	1.00	99.58	0.42
	230	0.063	482.2	484.2	2	0.40	99.98	0.02
	PAN	0	483.6	483.7	0.1	0.02	100.00	0.00
					499.5	100.00		

A.4 Análisis de forma de la muestra del talud izquierdo, sección 1

TI 1		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	73	36.5
SUBANGULAR	101	50.5
REDONDEADAS	1	0.5
SUBREDONDEADAS	5	2.5

A.5 Análisis de forma de la muestra del centro del canal, sección 1

CC 1		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	70	35
SUBANGULAR	101	50.5
SUBREDONDEADAS	24	12
REDONDEADAS	5	2.5

A.6 Análisis de forma de la muestra del talud derecho, sección 1

TD 1		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	62	31
SUBANGULAR	105	52.5
SUBREDONDEADAS	30	15
REDONDEADAS	3	1.5

A.7 Análisis de forma de la muestra del talud izquierdo, sección 2

TI 2		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	65	32.5
SUBANGULAR	98	49
SUBREDONDEADAS	30	15
REDONDEADAS	7	3.5

A.8 Análisis de forma de la muestra del centro del canal, sección 2

CC 2		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	61	30.5
SUBANGULAR	98	49
SUBREDONDEADAS	31	15.5
REDONDEADAS	10	5

A.9. Análisis de forma de la muestra del talud derecho, sección 2

TD 2		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	60	30
SUBANGULAR	104	52
SUBREDONDEADAS	28	14
REDONDEADAS	8	4

A.10. Análisis de forma de la muestra del talud izquierdo, sección 3

TI 3		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	67	33.5
SUBANGULAR	110	55
SUBREDONDEADAS	10	10
REDONDEADAS	3	1.5

A.11 Análisis de forma de la muestra del centro del canal, sección 3

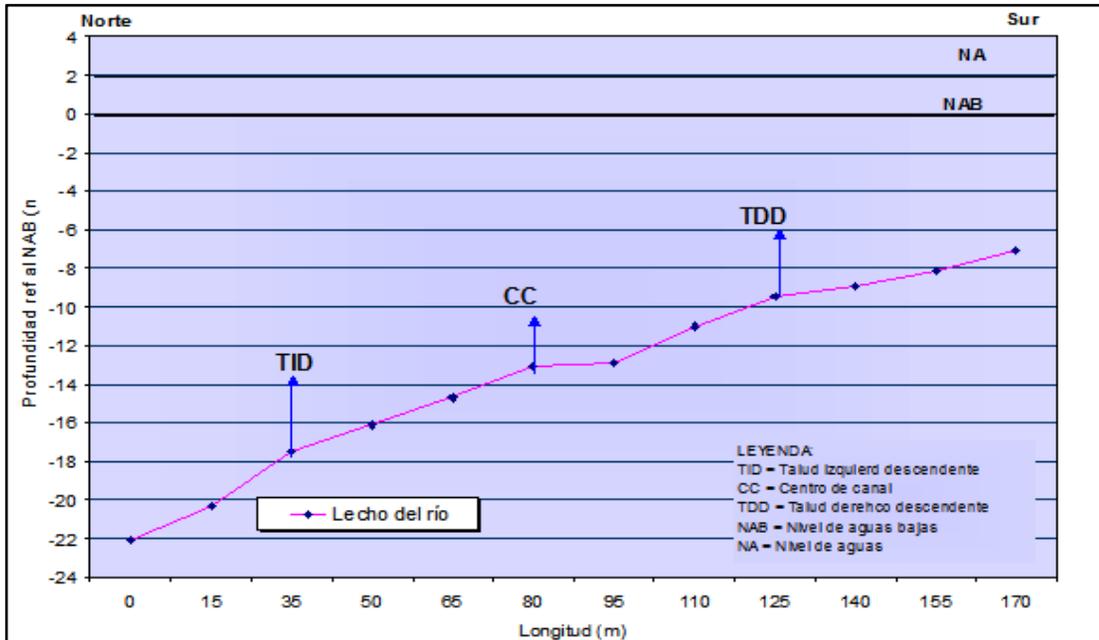
CC 3		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	66	33
SUBANGULAR	99	49.5
SUBREDONDEADAS	30	15
REDONDEADAS	5	2.5

A.12. Análisis de forma de la muestra del talud derecho, sección 3

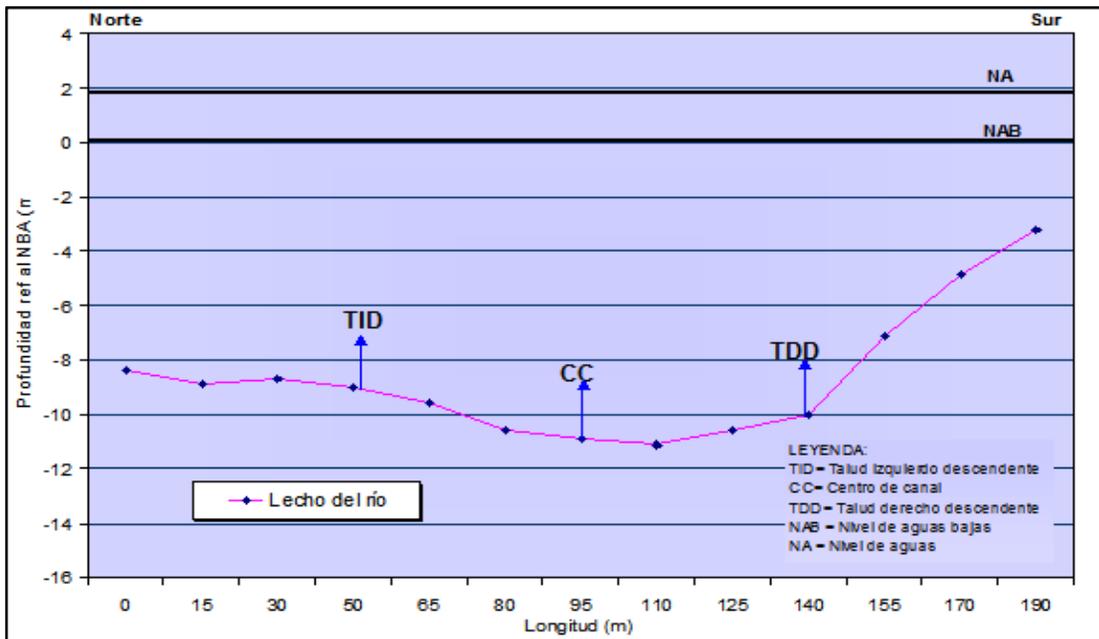
TD 3		
FORMA DE LA PARTICULA	FRECUENCIA ABSOLUTA (UNIDAD)	FRECUENCIA RELATIVA (%)
ANGULAR	75	37.5
SUBANGULAR	100	0
SUBREDONDEADAS	19	9.5
REDONDEADAS	6	3

APÉNDICE B
GRÁFICO DE PENDIENTES HIDRÁULICAS DEL RÍO
ORINOCO. TRAMO MATANZAS-CURIAPO

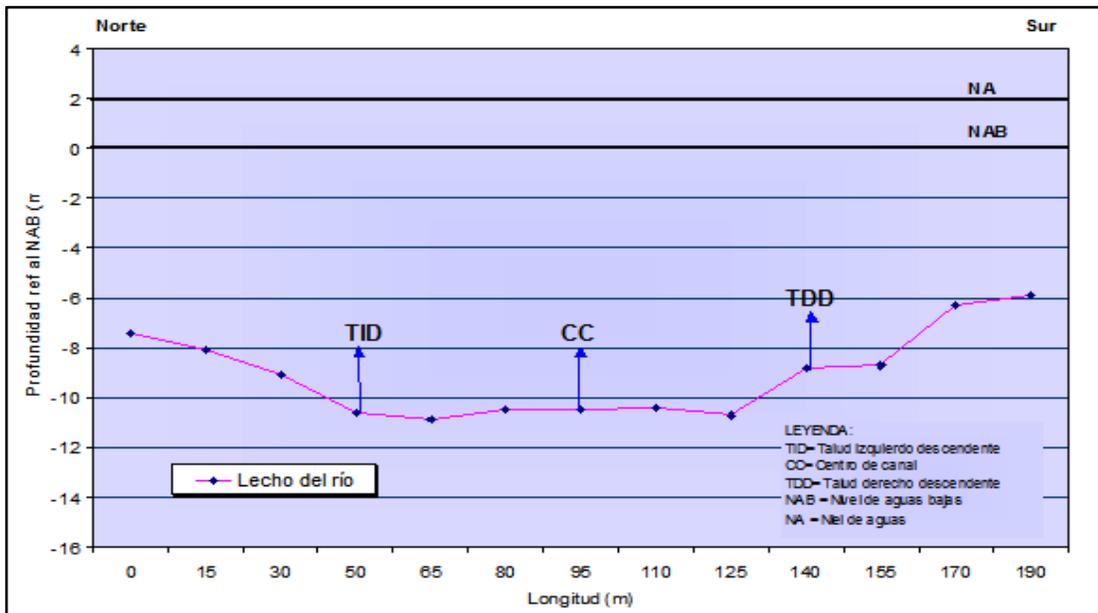
APÉNDICE C
SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE



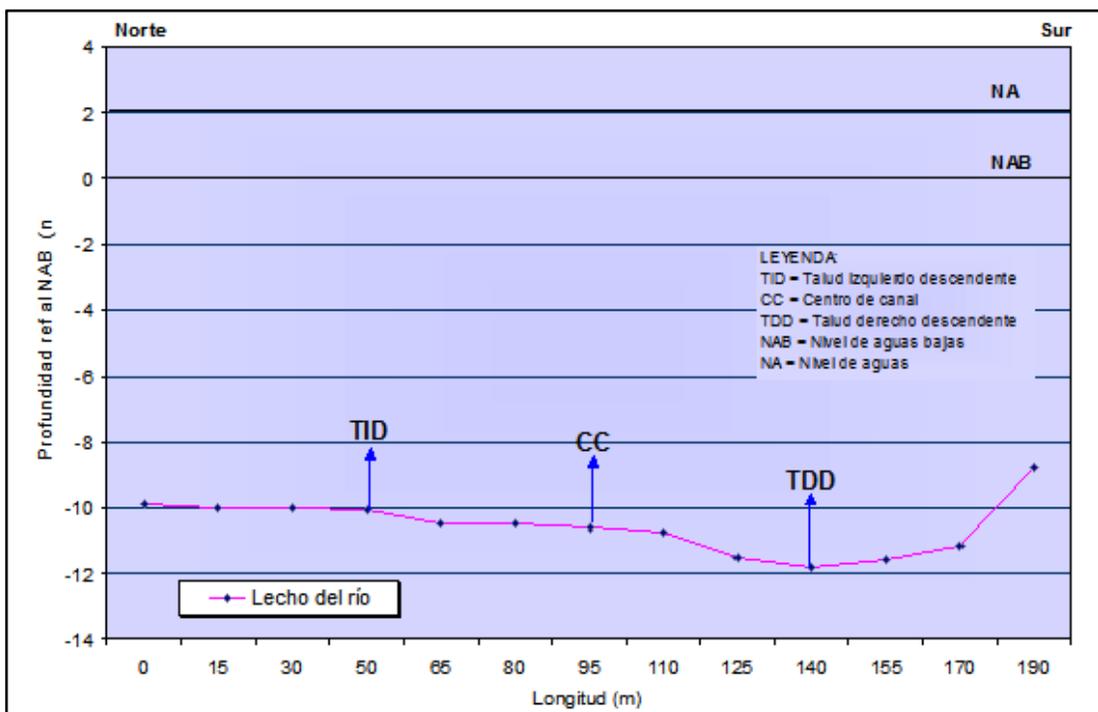
C.1 Sección transversal N°1 del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas.



C.2 Sección transversal N°2 del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas.



C.3 Sección transversal N°3 del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas.



C.4 Sección transversal N°4 del canal de navegación del río Orinoco en el sector Barrancas.